

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA



TESIS DOCTORAL

Obliteración del seno frontal mediante abordaje subcraneal con viruta ósea de calota y DBX (Demineralized Bone Matrix). Estudio de regeneración ósea en patología traumática frontal

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Ignacio Zubillaga Rodríguez

Directores

**Gregorio Sánchez Aniceto
Ramiro Díez Lobato**

Madrid, 2013

INFORME DEL DIRECTOR/ES DE LA TESIS

El Dr. Ignacio Zubillaga Rodríguez ha trabajado en estos últimos años en el desarrollo de su tesis doctoral de investigación clínica en la búsqueda de la mejor opción de relleno para la obliteración de la cavidad del seno frontal cuando éste va a ser excluido, en aquellos casos de fracturas complejas que comprometen la viabilidad funcional del mismo. Al desarrollo y sistematización del abordaje subcreaneal (no sólo en traumatología, también en patología tumoral) para disminuir la morbilidad del procedimiento quirúrgico, ha unido la búsqueda del material ideal para el relleno sinusal, bien utilizando hueso autólogo del mismo campo quirúrgico (minimizando así la morbilidad) bien combinándolo con el biomaterial ideal, todo ello comprobando de forma sistemática los resultados finales mediante un seguimiento exquisito de los pacientes y un completo estudio radiológico seriado mediante tomografía computarizada y análisis densitométrico de los senos obliterados. A lo largo de estos años se han producido publicaciones significativas relacionadas con todos y cada uno de los aspectos analizados en esta tesis doctoral.

Fecha	18/5/2012	Fecha	18/5/2012	Fecha	
Firma		Firma		Firma	
D.N.I	4151337	D.N.I	9651129	D.N.I	

(6) EVALUADORES ESPECIALISTAS EN LA MATERIA

artº. 4.9 b y 4.9 c de la Normativa de desarrollo del R.D. 1393/2007 (Deberá indicarse cual de los especialistas está incluido en el programa de Doctorado)

Nombre	Farzin Falahat Noushzady	<input type="checkbox"/> INTERNO	D.N.I	52.881.137-C
Centro	Facultad de Medicina. Dpto. de Cirugía			
Nombre	Susana Heredero Jung		D.N.I	33.345.982-F
Centro	Universidad de Córdoba. Dpto. de Cirugía			
Nombre			D.N.I	
Centro				

APROBACIÓN DEL ÓRGANO RESPONSABLE DEL PROGRAMA DE POSTGRADO

(Se deberá reflejar la aprobación de la administración a trámite por el Órgano Responsable del Programa de Postgrado, acompañando a este impreso los informes señalados en el art. 4.6, y los emitidos por los especialistas señalados en el apartado anterior, de acuerdo con la Normativa de Desarrollo de la UCM, del R.D. 1393/2007, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales.

La Tesis Doctoral "**Obliteración del seno frontal mediante abordaje subcreaneal con viruta ósea de calota y DBX (demineralized bone matrix). Estudio de regeneración ósea en patología traumática frontal**", realizada por D. Ignacio Zubillaga Rodríguez, ha sido considerada por el Consejo de Departamento del 24 de mayo de 2012, apta para ser presentada ante el Tribunal Calificador.

Fecha 24 de mayo de 2012



Prof. J. Alvarez Fdez.-Represa

Firma



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

**OBLITERACIÓN DEL SENO FRONTAL MEDIANTE
ABORDAJE SUBCRANEAL CON VIRUTA ÓSEA
DE CALOTA Y DBX (DEMINERALIZED BONE
MATRIX). ESTUDIO DE REGENERACIÓN ÓSEA
EN PATOLOGÍA TRAUMÁTICA FRONTAL.**

TESIS DOCTORAL

Ignacio Zubillaga Rodríguez

Madrid, 2012

OBLITERACIÓN DEL SENO FRONTAL MEDIANTE
ABORDAJE SUBCRANEAL CON VIRUTA ÓSEA DE
CALOTA Y DBX (DEMINERALIZED BONE MATRIX).
ESTUDIO DE REGENERACIÓN ÓSEA EN
PATOLOGÍA TRAUMÁTICA FRONTAL.

Estudio realizado por

IGNACIO ZUBILLAGA RODRÍGUEZ

Dirigido por los profesores

GREGORIO SÁNCHEZ ANICETO
RAMIRO DÍEZ LOBATO

Trabajo de investigación para optar al grado de
DOCTOR

Programa de Doctorado en Cirugía
Departamento de Cirugía
Facultad de Medicina
Universidad Complutense de Madrid



Madrid, 2012

AGRADECIMIENTOS

A mi mujer Eva, por su inteligencia, paciencia y apoyo incondicional en todos los proyectos personales y profesionales que he ido iniciando en mi vida.

A mi Director de Tesis, Gregorio Sánchez Aniceto, amigo y jefe, porque siempre ha favorecido mi desarrollo laboral y docente.

A mi Codirector de Tesis, Ramiro Díez Lobato, ejemplo y estímulo para la ejecución de mi tesis doctoral.

A David Lora Pablos, por su ayuda desinteresada en la comprensión del complejo mundo estadístico.

A mis compañeros del servicio de Cirugía Maxilofacial del Hospital Universitario 12 de Octubre, en especial a Mabel Falguera Uceda y Ramón Gutiérrez Díaz, por su inestimable colaboración en la consecución de mi tesis.

A mi compañero Alejandro Gutiérrez, por su envidiable dominio de las nuevas tecnologías.

A todos los miembros propuestos para formar parte del tribunal de la tesis, por sus siempre buenas palabras hacia el proyecto y sobre todo por el cariño mostrado.

A Joaquín Arenas Barbero, por su intuición y confianza depositada en la realización del estudio.

A mis padres, por su ánimo y motivación constante para lograr mis retos.

A mis hijos Álvaro e Ignacio, luz de mi vida.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.A. HISTORIA.....	12
1.A.1. Abordajes transcraneales vs transfaciales.	
1.A.2. Abordajes al seno frontal.	
1.A.3. Abordaje subcraneal.	
1.B. EMBRIOLOGÍA.....	18
1.B.1. Esqueleto craneofacial.	
1.B.2. Seno frontal.	
1.C. ANATOMÍA QUIRÚRGICA.....	21
1.C.1. Fosa craneal anterior.	
1.C.2. Seno frontal.	
1.D. BIOMECÁNICA y EPIDEMIOLOGÍA.....	25
1.E. CLASIFICACIÓN, CLÍNICA y DIAGNÓSTICO.....	26
2. OBJETIVOS.....	29
3. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS.....	33
4. MATERIAL y MÉTODOS.....	35
5. RESULTADOS.....	48

6. DISCUSIÓN.....	66
6.A. Discusión del abordaje subcraneal.....	67
6.B. Discusión del tratamiento del seno frontal.....	71
6.B.1. Aspectos generales.....	71
6.B.2. Incisiones y osteotomías de acceso al seno frontal...	76
6.B.3. Manejo del ducto nasofrontal.....	79
6.B.4. Obliteración del seno frontal.....	81
6.B.4.1. Defecto crítico.	
6.B.4.2. Materiales de relleno.	
6.B.5. Injertos óseos.....	93
6.B.5.1. Tipos de injertos óseos.	
6.B.5.2. Zonas donantes de injertos autólogos.	
6.B.5.2.1. Injerto óseo particulado de calota.	
6.B.5.3. Incorporación del injerto al lecho receptor.	
6.B.5.4. Injertos autólogos vs sustitutos óseos.	
Combinación de ambos.	
6.B.6. Demineralized Bone Matrix (DBX).....	109
6.C. Discusión de las complicaciones.....	119
7. CONCLUSIONES.....	125
8. BIBLIOGRAFÍA.....	130
9. ANEXO.....	146

1. INTRODUCCIÓN

La cirugía de la base craneal es en la actualidad una realidad que se ha ido consolidando en las últimas décadas. El vertiginoso avance tecnológico desarrollado, incluyendo técnicas de imagen preoperatorias más específicas, ha actuado como motor en la evolución de las técnicas quirúrgicas que abordan dicha región anatómica. La mejora en el conocimiento de la anatomía de la base craneal también ha estimulado el desarrollo de nuevos abordajes quirúrgicos. Su impulso definitivo se ha cimentado en el concepto básico de equipo multidisciplinario. Se ha establecido desde el punto de vista técnico y ético como imprescindible la presencia de equipos cualificados integrados por neurorradiólogos, incluyendo su vertiente intervencionista, anestesistas, neurocirujanos y cirujanos maxilofaciales aptos para tratar con criterio y garantías este complejo enclave anatómico.

El desarrollo de material de instrumentación ha contribuido de forma relevante al desarrollo de la cirugía de la base craneal. Ha sido clave en todas las fases de nuestra práctica clínica: desde el diagnóstico, pasando por la monitorización intraoperatoria, hasta el seguimiento postoperatorio

La elección del abordaje más adecuado a la base craneal en cada caso es esencial para la obtención de resultados quirúrgicos globales satisfactorios. Inicialmente dependerá de la localización anatómica exacta de la lesión dentro de la base craneal y de su extensión tridimensional, así como de la naturaleza de la misma. Las opciones posibles deben ser depuradas finalmente en función del status global del paciente, planificación reconstructiva y experiencia del equipo quirúrgico.

Podemos establecer unos principios básicos o reglas de oro para la elección del abordaje más adecuado:

1. Elegir la vía de acceso más próxima hasta nuestro objetivo, sorteando y protegiendo aquellas estructuras nobles que aseguren una supervivencia funcionalmente aceptable del paciente.
2. Considerar siempre posibles alteraciones de la vascularización si han existido cirugías previas y/o radioterapia.
3. Realizar las osteotomías craneofaciales necesarias para evitar una excesiva retracción cerebral y conseguir una adecuada exposición del objetivo que permita el manejo más satisfactorio de la lesión.
4. Las osteotomías deben procurar fragmentos óseos únicos y se deben practicar con las osteosíntesis preformadas para asegurar una correcta reposición anatómica.

5. Elección del abordaje en estrecha relación con la planificación reconstructiva, especialmente para obtener un adecuado aislamiento del sistema nervioso central de las vías aerodigestivas superiores.
6. Lograr el mejor resultado estético posible.
7. Minimizar al máximo la morbilidad del paciente.

El abordaje subcraneal representa un paso fundamental en el desarrollo de las técnicas quirúrgicas de la base craneal. Es un avance lógico en el progreso de las osteotomías disponibles fruto del esfuerzo y cooperación simultánea entre las distintas especialidades que tratan la base del cráneo. Permite una amplia y óptima exposición de todos los planos de la fosa craneal anterior, desde el techo etmoidal anterior hasta el *clivus-planum esfenoidale* incluyendo los techos orbitarios. Este objetivo se logra sin retracción de los lóbulos frontales evitando de esta manera la morbilidad asociada que dicha maniobra conlleva. Favorece el manejo precoz preciso de patología oncológica con afectación intra-extradural, el tratamiento de fracturas tras impactos de alta energía con afectación de la fosa craneal anterior, incluso con desgarros duros y herniación del tejido cerebral, la descompresión del nervio óptico, la corrección de malformaciones craneofaciales y el aislamiento estricto-reconstrucción de la base craneal.

Una de las indicaciones principales del abordaje subcraneal es el tratamiento de los traumatismos frontales con o sin afectación de la base craneal anterior. Las fracturas del seno frontal suponen de un 2-12% de las fracturas craneales y un 8% de las fracturas faciales según las distintas series (5-15%) (Ioannides et al 1993)

El seno frontal se sitúa en la unión entre el esplancocráneo y el neurocráneo, entre la fosa craneal anterior y la región nasoetmoidoorbitaria. Los puntos clave en el tratamiento de las fracturas del seno frontal incluyen la potencial creación de un espacio muerto, la posible continua contaminación del espacio intracraneal desde la cavidad nasal-celdas etmoidales y la natural tendencia de la mucosa del seno frontal para proliferar de forma patológica y anormal tras haber sido agredida por un traumatismo, formando quistes-mucocele. Es precisamente la prevención de las posibles complicaciones devastadoras relacionadas con este área la que nos obliga a la realización de técnicas más agresivas en relación al manejo de la patología del seno frontal, intentando la resolución del trauma sinusal en un solo acto quirúrgico (Raveh et al 1984).

Se ha postulado que el objetivo en el tratamiento de las fracturas del seno frontal es la creación de un “seno seguro” (Strong 2009) que minimize la morbilidad del paciente y favorezca el seguimiento radiológico. El abordaje subcraneal favorece la consecución de dicho objetivo.

El paso final está constituido por la obliteración sinusal.

La obliteración del seno frontal se define como la ocupación de la cavidad aérea sinusal frontal manteniendo intactas las paredes óseas. Se emplea en el manejo de patología traumática, infecciosa, oncológica o en el tratamiento de sus secuelas. Su objetivo es la eliminación sinusal como unidad funcional, evitando la regeneración epitelial sinusal.

Los principios básicos en torno a la obliteración del seno frontal se han desarrollado durante los últimos 50 años. Dicho procedimiento se ha convertido en uno de los puntos clave en el tratamiento de fracturas del seno frontal. Disminuye el riesgo de aparición de complicaciones infecciosas (mucocelos, mucopioceles, osteomielitis, meningitis y abscesos cerebrales) dada la potencial degeneración quística de la mucosa sinusal afectada.

Tradicionalmente, la grasa autógena y el músculo temporal eran materiales empleados con frecuencia en dicho procedimiento.

Sin embargo, de la literatura se extrae que los mejores resultados a largo plazo se obtienen cuando la obliteración se realiza con hueso autólogo (Ioannides et al 1984, Wolfe y Johnson 1988, Shumrick y Smith 1994). El abordaje coronal ofrece una mejor visión y mayor control de la región a tratar, permitiendo de la misma forma la toma de injertos óseos autólogos en el mismo campo quirúrgico.

El hueso autólogo es considerado el patrón oro aunque presenta ciertos inconvenientes como la morbilidad de la zona donante, la limitación en la cantidad de hueso disponible y la morfología anatómica del mismo. Para superar estos inconvenientes se busca incansablemente el biomaterial que actúe como sustituto óseo ideal.

La combinación de injertos autólogos con otros materiales de relleno ha desembocado en múltiples artículos, sin que se puedan establecer conclusiones definitivas por el momento. Así, se pueden utilizar diferentes mezclas y proporciones para aprovechar al máximo las capacidades osteogénicas, osteoconductoras y osteoinductoras de todos ellos.

La elección en la práctica clínica de un material de relleno u otro exige un conocimiento de los mecanismos íntimos que intervienen en la

regeneración ósea, permitiendo valorar de forma crítica la avalancha de información sobre los materiales disponibles.

Demineralized Bone Matrix, DBX, (Musculoskeletal Transplant Foundation, USA, Edison, NJ) es una preparación comercialmente disponible (Synthes) de matriz ósea desmineralizada tras un procesamiento adecuado del hueso humano combinado con hialuronato sódico. Estudios experimentales demuestran marcada progresión en la cantidad de neoformación ósea desde la semana 12ª a la 36ª con remodelación ósea significativa. DBX es completamente reemplazado por el nuevo hueso huésped en un periodo de 4-6 meses. (Altman et al 2007)

La disponibilidad actual de múltiples biomateriales incrementa significativamente nuestras posibilidades reconstructivas.

El aspecto reconstructivo de la cirugía de la base craneal ha ido ganando interés hasta el momento actual. La reconstrucción es una fase indispensable de cualquier procedimiento quirúrgico complejo. Cuanto mayor es la afectación de estructuras anatómicas críticas durante la cirugía, mayor es la demanda en la integridad de la reconstrucción. Hoy día no sólo es concebible una resolución adecuada de la patología de la base craneal sino que es mandatoria la obtención de resultados estéticos y funcionales notables. Los conocimientos y técnicas actuales permiten y propugnan el tratamiento precoz, agresivo y definitivo de la patología de la base craneal en un solo tiempo quirúrgico. Cualquier defecto de la base craneal que permita una comunicación directa del contenido intracraneal con la nariz y/o los senos paranasales requiere reconstrucción.

El perfeccionamiento de las diferentes técnicas reconstructivas, incluyendo colgajos libres microvascularizados y materiales de osteosíntesis, ha aportado un nuevo impulso en la drástica disminución de los índices de morbilidad y mortalidad. Tanto la accesibilidad como la reconstrucción de la base craneal han sido la causa de la progresiva incorporación de los cirujanos maxilofaciales al manejo multidisciplinario de esta patología.

1. A. HISTORIA

1.A.1. Abordajes transcraneales vs transfaciales

En 1912, Hirsch sistematiza el abordaje transeptoefenoidal a la silla turca. Comienza así un largo camino que progresivamente se va ampliando para acceder desde la región facial a la base craneal.

El abordaje transbasal descrito por Derome (1972) es la vía transcraneal clásica para alcanzar la base craneal anteromedial incluyendo el seno esfenoidal y el clivus; se accede asimismo al complejo etmoidesfenoidal y lateralmente a la órbita, canal óptico-fisura orbitaria superior y seno cavernoso. Otra indicación es la extensión intracraneal (fosa craneal anterior) intra o extradural de lesiones primitivas del complejo etmoidesfenoidal. Se realiza una craneotomía bifrontal, en ocasiones en dos fragmentos para facilitar la disección dural y del seno, y mediante retracción de los lóbulos frontales se obtiene el ángulo de acceso que puede requerir la sección de los filamentos olfatorios y la consecuente anosmia postquirúrgica. La retracción de los lóbulos frontales es el principal inconveniente de este abordaje dadas las limitaciones en el campo quirúrgico que conlleva y el riesgo de isquemia y daño cerebral asociado.

El abordaje subfrontal extendido (Sekhar et al 1992) asocia a la craneotomía una osteotomía frontoorbitaria que en un bloque retira del campo quirúrgico una barra ósea constituida por los rebordes supraorbitarios y ambos techos orbitarios; a nivel central la osteotomía se practica en el nasion a la altura que determinan las arterias etmoidales anteriores. En los techos orbitarios la osteotomía se practica por delante o detrás de la lámina cribosa según las necesidades, siendo el límite posterior las apófisis clinoides anteriores. El ángulo de ataque queda así ampliado, con lo que las posibilidades del abordaje aumentan a las extensiones orbitarias, nasales y clávales de la lesión, minimizando la retracción de los lóbulos frontales. Sería posible realizar una descompresión del nervio óptico, acceder al seno cavernoso en su porción superomedial y a la región selar. Lateralmente la arteria carótida interna puede ser abordada en su trayecto vertical e intracavernoso. Si la lesión sobrepasa estos límites habrá que asociar un abordaje lateral tipo subtemporal–infratemporal. La extensión inferior de la lesión determinará la necesidad de un abordaje transfacial complementario.

El abordaje transfrontal-nasoorbitario amplía las osteotomías descritas al resto de las paredes orbitarias. Se pueden así movilizar los globos oculares, permitiendo un amplio acceso al compartimento central y al clivus, desde la región retroselar hasta las proximidades del foramen magno.

La introducción de los abordajes transfaciales se debe a Walter Dandy, quien, en 1941, publicó detalladamente la resección de tumores orbitarios a través de la fosa craneal anterior. Las técnicas descritas en su libro fueron las primeras en combinar abordajes craneofaciales combinados. En 1954 el primer abordaje intracraneal y transfacial combinado para el tratamiento de tumores del seno frontal fue publicado por Smith. Artículos posteriores detallan el empleo de dichos abordajes combinados para el manejo de patología de la base craneal anterior en múltiples localizaciones. La experiencia temprana con estas técnicas dio como resultado altas tasas de morbilidad asociada, sobre todo fistulas de líquido cefalorraquídeo e infecciones de sistema nervioso central postquirúrgicas. El desarrollo de nuevos colgajos locales tipo galea-pericráneo supuso una reducción considerable en la tasa de complicaciones.

El abordaje transetmoidal es una vía directa y sencilla a la base craneal anteromedial. Sin embargo, presenta el inconveniente de las incisiones cutáneas inestéticas y los problemas asociados con la vía lacrimal. Puede accederse al seno frontal, seno maxilar, órbita medial y posteriormente hasta esfenoides, hipófisis, clivus, fosa pterigopalatina y ápex petroso. El campo quirúrgico de estas también denominadas rinotomías es limitado. Moure describe la versión extendida que es perfeccionada por Janecka para obviar los problemas relacionados con el canto y la vía lacrimal (minitranslocación facial central): mediante una incisión paralateronasal realiza una osteotomía del hueso propio nasal, apófisis ascendente del maxilar hasta el límite del nervio infraorbitario y pared medial orbitaria. Este bloque queda pediculado con el colgajo musculocutáneo e incorpora la vía lacrimal y la inserción cantal.

Con respecto a los clásicos abordajes transcraneales y siguiendo los postulados de Janecka, los abordajes transfaciales presentan las siguientes ventajas:

1. La anatomía facial es secundaria a la fusión embriológica de los procesos nasofrontal, maxilar y mandibular a nivel de la línea media-paramedial, lo que permite una separación menos traumática y comprometida a este nivel para su desplazamiento en los abordajes.

2. El aporte vascular de estas unidades faciales depende de la arteria carótida externa, la cual presenta un flujo de lateral a medial que favorece el desplazamiento- apertura de las mismas sin compromiso vascular asociado.
3. El esqueleto óseo facial alberga espacios anatómicos huecos que facilitan el acceso a la base craneal central (senos paranasales)
4. El desplazamiento de las unidades faciales durante el abordaje ofrece mucha mejor tolerancia (isquemia y edema) que desplazamientos similares sobre estructuras del neurocráneo.
5. El reposicionamiento adecuado de las unidades faciales en la fase reconstructiva obtiene unos resultados estéticos y funcionales satisfactorios.

Lógicamente, los abordajes transfaciales también suponen ciertas desventajas respecto a los transcraneales:

- a) Contaminación quirúrgica con la flora orofaríngea.
- b) Eventual necesidad de incisiones cutáneas faciales.
- c) Eventual necesidad de traqueostomía temporal.

1.A.2. Abordajes al seno frontal

Gran variedad de técnicas han sido empleadas para acceder al seno frontal, como la realización de colgajos óseos o la transiluminación sinusal para desarrollar injertos óseos libres de la tabla anterior del seno frontal.

La progresión de la cirugía del seno frontal ha sido paralela al desarrollo del tratamiento de los traumatismos craneofaciales.

El proceso inicial de acceso al seno frontal incluía un drenaje simple percutáneo vía trépano en casos de sinusitis aguda. Rara vez se obtenían resultados satisfactorios. (Ramadan 2000)

En el momento actual algunos autores (Strong 2009) optan por la realización de un trépano de acceso al seno frontal y la posterior visualización con endoscopia ($0^\circ \pm 30^\circ$) para valorar el receso frontal y la afectación de la pared posterior. Se realiza una incisión entre el canto medial y la glabella de 1-1.5 cm. El pedículo neurovascular supratroclear debe ser preservado. El trépano (5 mm) se realiza medial e inferior al borde medial de la ceja. Fluoresceína o azul de metileno pueden ser instilados para diagnosticar la obstrucción a nivel del receso frontal.

El seno frontal ha supuesto un problema terapéutico desde que Ambrosio Paré describió la presencia de una sustancia blanca pegajosa que partía del seno tras una trepanación craneal en 1564 (Anderson 1932). Aunque Lettre describió inicialmente la realización de trépanos sobre el seno frontal en 1704, Ogston publicó el primer procedimiento quirúrgico externo sobre el seno frontal en 1884 (Anderson 1932).

La primera operación por fractura del seno frontal fue descrita por Reidel en 1898. Realizó una exenteración total del seno resecano la pared anterior creándose así un colapso del colgajo frontal sobre la pared posterior. Para minimizar el defecto estético con el procedimiento de Reidel, Killian en 1904 realizó una operación similar pero preservaba 10 mm del reborde supraorbitario con fines estéticos. En 1921, Lynch practicó una frontoetmoidectomía resecano el suelo del seno frontal, el hueso etmoidal y los cornetes medios. La incidencia de complicaciones con este procedimiento eran comparables a los procedimientos más radicales de Reidel y Killian.

El siguiente avance significativo en el manejo de las fracturas del seno frontal ocurrió en 1951, cuando Bergara e Itoiz realizaron el denominado “colgajo osteoplástico”. Desde entonces se ha considerado el “*gold standard*” en el manejo de la patología del seno frontal.

La técnica para realizar un colgajo óseo en cirugía del seno frontal fue descrita inicialmente por Kocher en el siglo XIX. Un intento de osteotomía de la tabla anterior como una única unidad fue practicado por Tato (Tato et al 1954) y posteriormente por Goodale y Montgomery (Goodale y Montgomery 1958) para el manejo de sinusitis crónicas frontales.

Se tomaban moldes con la forma del seno frontal basándose en radiografías simples de cráneo (es preciso valorar el factor de magnificación). Este molde se esterilizaba en el momento de la cirugía y se usaba para delinear el perímetro del seno frontal. Se realizaba una osteotomía siguiendo este perímetro y la tabla anterior se pediculaba al pericráneo frontal (Lindorf 1986). Otra técnica emplea la transiluminación para delimitar los bordes del seno frontal (Casiano y Cooper 1992).

1. A. 3. Abordaje subcraneal

El abordaje de los senos frontal, etmoidal y esfenoidal es prácticamente imposible sin que este procedimiento implique la sección de una parte del hueso craneal. Hayes Martin 1948.

La incorporación de los principios de la cirugía craneofacial dictados por Tessier en 1967 a la problemática basicraneal ha supuesto una mejora en la accesibilidad quirúrgica y, por tanto, un importante avance en la resecabilidad y resolución de los procesos con una morbilidad aceptable y previsible. Demuestra la posibilidad de movilizar y reponer posteriormente las unidades esqueléticas faciales con una tasa de complicaciones asumible. Los huesos faciales o craneales, incluso sin periostio, pueden ser osteotomizados, retirados transitoriamente del campo quirúrgico para facilitar un abordaje y posteriormente ser recolocados en la misma o distinta posición craneofacial. Estos conceptos son aplicados a la cirugía de la base craneal.

El abordaje subcraneal fue descrito en 1978 por Raveh para el tratamiento de traumatismos con afectación de la base craneal anterior como alternativa a los tradicionales abordajes transcraneales-transfaciales empleados para acceder a dicha región (Raveh et al 1988,1993). Se cimenta en estudios pioneros de Frazier, Smith y Ketcham quienes demuestran las posibilidades de los abordajes transfaciales y tras los avances obtenidos por Tessier y Derome en relación al abordaje transbasal. Trabajos posteriores de Lawton, Fukuta, Janecka y Sekhar contribuyen al desarrollo definitivo de dicho abordaje. Fue posteriormente utilizado para la corrección de malformaciones craneofaciales congénitas y en 1980 se describe por primera vez su uso en cirugía oncológica basicraneal.

Entre sus indicaciones se encuentran:

1. Traumatismos craneofaciales complejos que incluyen fracturas de base de cráneo con perforaciones durales y fracturas del complejo frontonasoetmoidoorbitario desplazadas.
2. Procedimientos reconstructivos de base de cráneo en casos de fistula de LCR postraumática, postquirúrgica o idiopática.
3. Descompresión del nervio óptico tras etmoidectomía radical. (Fliss 2000)
4. Neoplasias con afectación de fosa craneal anterior originadas en cavidad nasal, nasofaringe, senos paranasales, órbita o meninges, incluyendo patología congénita (Van Aalst et al 2005)
5. Patología infecciosa sinusal, habitualmente crónica, no susceptible o recurrente al tratamiento endoscópico.

Contraindicaciones para la realización del abordaje subcraneal son traumatismos de la base craneal anterior laterales al techo orbitario o lesiones que requieren acceso neuroquirúrgico al lóbulo frontal vía craneotomía *standard*. Los límites laterales del abordaje incluyen los nervios ópticos, senos cavernosos y caudalmente las porciones laterales e inferiores del maxilar superior. La afectación del seno cavernoso, arteria carótida interna, quiasma óptico y la invasión cerebral masiva implican la necesidad de asociar un abordaje intracraneal para la resolución adecuada de la patología de base (Kinnunen y Aitasalo 2006).

Aunque los métodos tradicionales de abordaje de fracturas frontobasales complejas están firmemente establecidos, son seguros y efectivos, presentan altas tasas de morbilidad fundamentalmente por retracción de los lóbulos frontales (edema, contusión, encefalomalacia). Dicha morbilidad incrementa especialmente si existe afectación del *planum esfenoidale* o de la región selar. Además, las incisiones cutáneas faciales realizadas en los abordajes clásicos transfaciales presentan el inconveniente de las cicatrices faciales y la morbilidad estética asociada (Fliss et al 2000).

En los traumatismos craneofaciales severos, la afectación de la base craneal anterior y de los planos selar-esfenoidal es alta. Pueden asociar desgarros duros severos así como compresión del nervio óptico. Las fracturas conminutas desplazadas de la región frontoorbitonasal provocan habitualmente pseudohipertelorismo. La reconstrucción de la región frontoorbitaria y de la base craneal adopta un papel crucial en el manejo del esqueleto facial.

En la década de los 90, Sekhar publica su tratado de cirugía de la base craneal, constituyendo éste un punto de inflexión para la difusión y sistematización de estos procedimientos.

1. B. EMBRIOLOGÍA

1.B.1. Esqueleto craneofacial

El sistema esquelético se desarrolla a partir de la capa germinativa mesodérmica, que aparece durante la tercera semana del desarrollo. Forma una serie de bloques de tejido mesodérmico, los somitas, de cada lado del tubo neural. Poco después de su formación cada somita se diferencia en una porción ventromedial, el esclerotoma, y una parte dorsolateral, el dermatomiotoma. Al finalizar la cuarta semana las células del esclerotoma se tornan polimorfas y constituyen un tejido laxo que se denomina mesénquima o tejido conectivo embrionario. La característica de las células mesenquimáticas es que emigran y se diferencian de forma variada; pueden transformarse en fibroblastos, condroblastos u osteoblastos.

Se ha demostrado que las células de la cresta neural de la región de la cabeza se diferencian en mesénquima y participan en la formación de los huesos de la cara. En algunos huesos, como en los huesos planos del cráneo, el mesénquima se diferencia directamente en hueso, proceso que recibe el nombre de osificación membranosa; no obstante, en la mayoría de los huesos, las células mesenquimáticas dan origen primero a modelos de cartilago hialino, los cuales, a su vez, se osifican por el proceso de osificación endocondral.

El cráneo puede dividirse en dos partes: el neurocráneo, que forma una cubierta protectora para el encéfalo, y el viscerocráneo, que constituye el esqueleto de la cara.

Conviene dividir el neurocráneo en dos partes:

1. La porción membranosa formada por los huesos planos, que rodean al cerebro como una bóveda.
2. La porción cartilaginosa o condrocráneo, que forma los huesos de la base del cráneo.

El neurocráneo membranoso se desarrolla a partir del mesénquima que reviste al cerebro y pasa por el proceso de osificación membranosa. Como consecuencia de ello se forman una cierta cantidad de huesos membranosos planos que se caracterizan por la presencia de espículas óseas. Éstas se irradian de forma progresiva a partir de los centros de osificación primaria

hacia la periferia. Durante el crecimiento en la vida fetal y periodo postnatal los huesos membranosos aumentan de volumen por aposición de nuevas capas sobre su superficie externa, y por resorción osteoclástica simultánea que tiene lugar desde el interior. Diversas suturas y fontanelas mantienen su carácter membranoso bastante tiempo después del nacimiento. El crecimiento de los huesos de la bóveda craneana es particularmente rápido durante el crecimiento y la expansión de los huesos planos, causada sobre todo por el desarrollo del cerebro. Aun cuando a los 5-7 años de vida se tiene casi completa la capacidad craneana, algunas suturas permanecen abiertas hasta la edad adulta.

Respecto al neurocráneo cartilaginoso o condrocráneo se sabe que inicialmente se encuentra formado por varios cartílagos separados. Cuando estos cartílagos se fusionan y osifican por el proceso de osificación endocondral, se forma la base del cráneo.

La base del hueso occipital está formada por el cartílago paracordal y por los cuerpos de tres esclerotomas occipitales. Por delante de la lámina de la base occipital se encuentran los cartílagos hipofisarios y las trabéculas craneales. Muy pronto estos cartílagos se fusionan para formar el cuerpo del esfenoides y el etmoides, respectivamente. De esta manera se origina una placa mediana alargada de cartílago que va desde la región nasal hasta el borde anterior del agujero occipital. A cada lado de la placa mediana aparecen otras condensaciones mesenquimáticas. La más rostral, ala orbitaria, forma el ala menor del hueso esfenoides. En sentido caudal le sigue el ala temporal, que da lugar al ala mayor del esfenoides. Un tercer componente, la cápsula periótica, origina las porciones petrosa y mastoidea del hueso temporal. Más adelante estas partes se unen entre sí y con la lámina mediana, dejando los orificios por los cuales salen del cráneo los nervios craneales.

El viscerocráneo está formado por los huesos de la cara y se origina principalmente en los cartílagos de los dos primeros arcos branquiales. Cada uno de los arcos branquiales está formado por un núcleo central de tejido mesodérmico, cubierto por su lado externo por ectodermo superficial, y revestido en su interior por epitelio de origen endodérmico. Además de mesénquima local, la parte central de los arcos recibe un número abundante de células de la cresta, que emigran hacia los arcos para constituir los componentes esqueléticos de la cara. El mesodermo original de los arcos forma los músculos de la cara y el cuello. De tal manera cada arco branquial se caracteriza por poseer sus propios componentes musculares, los cuales conducen su propio nervio, y cualquiera que sea el sitio al que emigren las células musculares llevarán consigo su componente nervioso craneal. Asimismo cada arco posee su propio componente arterial.

El primer arco da origen a una porción dorsal, el proceso maxilar, que se extiende anteriormente bajo la órbita y origina el maxilar, hueso cigomático y parte del hueso temporal. La porción ventral se denomina cartílago de Meckel o proceso mandibular. El mesénquima que rodea al cartílago de Meckel se condensa y osifica por el proceso de osificación membranosa para dar origen al maxilar inferior. El cartílago de Meckel desaparece, salvo en el ligamento esfenomandibular. El extremo dorsal del proceso mandibular, junto con el del segundo arco mandibular, da origen más adelante al yunque, estribo y martillo. La osificación de estos tres huesecillos comienza en el cuarto mes y por eso son los primeros huesos que experimentan osificación completa.

1.B.2. Seno frontal

La cirugía en o a través del seno frontal se emplea en múltiples indicaciones incluyendo traumatismos, oncología y patología infecciosa. Dada su posición en el hueso frontal puede ser necesario acceder a la base craneal anterior a través del mismo. El conocimiento de la anatomía sinusal es crucial para el éxito de los procedimientos que se realizan a través del mismo.

Los senos frontales están ausentes tras el nacimiento y no comienzan a desarrollarse hasta el segundo año de vida. Sin embargo, existe una neumatización inicial lenta desde el cuarto mes del desarrollo intrauterino. Se produce una neumatización secundaria entre el 6º mes y los 2 años. Surgen desde las celdas aéreas infundibulares etmoidales por invaginación del hueso frontal a través del receso frontal o desde el meato superior (Manolidis 2004). El seno frontal puede consistir en uno o más compartimentos dependiendo de la fuente de neumatización. Habitualmente, la parte nasal del hueso frontal no es neumatizada por una sola y con frecuencia son varias las celdas etmoidales que lo conforman, dando lugar a la bulla frontal. Esta multiplicidad de neumatización genera un ducto nasofrontal tortuoso. El seno frontal por sí mismo no puede ser identificado radiográficamente hasta aproximadamente los 6-8 años de edad y no alcanza el tamaño adulto hasta los 12 años o más. Como la mayoría de neumatización no se completa hasta dicha edad, son raras las fracturas del seno frontal en los niños. En un 10% de las personas el seno frontal se desarrolla exclusivamente de forma unilateral y en un 5% de los casos está formado por una estructura rudimentaria. En un 4% de las

personas el seno frontal está ausente. De esta manera, casi un 20% de los individuos presentan un desarrollo aberrante del seno frontal.

El receso frontal conecta el seno con la región etmoidal anterior y es el área clave en el correcto funcionamiento del drenaje sinusal. La obstrucción del receso frontal es la causa más frecuente de sinusitis crónica frontal. El patrón de movilidad ciliar de las células mucosas que tapizan el seno frontal y por tanto el drenaje mucoso sinusal parte del septum sinusal interfrontal, se dirige hacia el techo del seno frontal y posteriormente en dirección medial hacia el suelo sinusal desembocando en el ostium (Kuhn 2006). Si la membrana mucosa es dañada o eliminada quirúrgicamente, el seno habitualmente no funcionará de forma adecuada tras la curación. Como ya se demostró en 1996, el epitelio columnar ciliado pseudoestratificado no se regenerará de forma correcta tras su exéresis del hueso (Moriyama et al 1996)

Sólo del 40-60% de la secreción mucinosa del seno frontal es drenado tras recorrer el circuito expuesto a la fosa nasal. El otro 40-60% restante recircula en el interior del seno frontal. Messerklinger (1967) también demostró que el moco podía descender al receso frontal y posteriormente ascender de nuevo al interior del seno frontal, potencialmente arrastrando flora local que puede incluir bacterias y hongos al interior sinusal.

1. C. ANATOMÍA QUIRÚRGICA

1.C.1. Fosa craneal anterior

Limitada por delante por el plano convencional que separa la bóveda del cráneo de su base, por detrás está perfectamente limitada, en la línea media, por el canal óptico, y a los lados por el borde posterior de las alas menores del esfenoides. Está constituida en la línea media por la cara posterior del frontal, la lámina cribosa del etmoides y una porción de la cara superior del cuerpo del esfenoides; a los lados, por las eminencias orbitarias y las alas menores del esfenoides.

En esta región encontramos:

1. En la línea media y de delante a atrás: la porción inferior de la cresta frontal; el agujero ciego (ocupado por una pequeña extensión de dura

altamente vascularizada; raramente, y sólo en individuos jóvenes, existen venas que conectan el seno sagital superior con venas nasales atravesando el agujero ciego); la apófisis *crista galli*; una cresta muy poco marcada continuación hacia atrás de esta última apófisis; el canal óptico, que lleva una dirección transversal y va a terminar a derecha e izquierda en el agujero óptico. Este canal no existe en la mayoría de los casos; de ordinario, detrás de la cresta se encuentra una convexidad que une los dos agujeros ópticos.

2. A ambos lados: los canales olfatorios, en los cuales se alojan los nervios y los bulbos olfatorios, con los agujeros olfatorios; el surco etmoidal, que une el agujero del mismo nombre con el conducto orbitario interno anterior; la sutura frontoetmoidal; las eminencias orbitarias, con sus eminencias mamilares y sus impresiones digitales, articulándose por detrás con las alas menores del esfenoides para formar la sutura frontoesfenoidal. A lo largo de la sutura frontoetmoidal, hemos de consignar la existencia de dos agujeros: son los orificios internos de dos conductos que se abren, por la otra parte, en la pared medial orbitaria, los conductos etmoidales u orbitarios internos. El anterior da paso a la arteria etmoidal anterior y a un filete nervioso sensitivo (filete etmoidal del ramito nasal de la rama oftálmica). El posterior da paso a la arteria etmoidal posterior y a un pequeño filete nervioso descrito por Luschka. Existen en ocasiones forámenes meningoorbitarios en el techo orbitario y ramas de la arteria oftálmica o menígea media pueden atravesarlos.

La media de distancia entre el agujero ciego y el *tuberculum sellae* es 42.5 mm (rango entre 28-50).

1.C.2. Seno frontal

El seno frontal adulto es una estructura con un volumen aproximado de 5-7 cm cúbicos dentro del hueso frontal, siendo sus dimensiones medias: altura 3.2 cm; anchura 2.6 cm; profundidad 1.8 cm. El área aproximada es de 720 mm².

Sin embargo, la anatomía del seno frontal puede ser anormalmente grande y/o aireada, haciendo realmente complicada la sinusotomía frontal.

Urken et al (1987) clasifican los senos frontales aumentados de tamaño en tres categorías:

1. Hiperseno engloba aquellos senos frontales mayores de lo normal pero que no se extienden más allá de los límites normales del hueso frontal. No hay prominencia frontal, extensión intracraneal ni afectación nasoetmoidoorbitaria. Los individuos que los presentan se encuentran asintomáticos.
2. Neumoseno dilatado se refiere a un seno frontal aireado que provoca desplazamiento externo creando prominencia frontal, extensión intracraneal o afectación nasoetmoidoorbitaria. Clínicamente los pacientes presentan deformidad frontal, cefalea o diplopia.
3. Neumocele es un seno frontal con finas paredes óseas o con osteolisis de las mismas. Clínicamente se manifiestan de forma similar al grupo previo.

La pared anterior del seno es uniformemente más gruesa y resistente que la pared posterior. El espesor medio de la pared anterior oscila entre 2.6 y 4.1 mm y es más fino a 10 mm de la línea media tanto a la derecha como a la izquierda (2.6 y 2.9 mm). La profundidad media anteroposterior del seno frontal oscila entre 8.0 y 9.3 mm y no varía significativamente a cualquier distancia desde la línea media. La altura del seno frontal es mayor en la línea media (media: 24.5 mm) y progresivamente disminuye al alejarse de la misma. No existen diferencias estadísticamente significativas en las medidas relativas a senos frontales derecho e izquierdo. Los varones presentan mayores dimensiones en las medidas relativas al seno frontal, aunque estas diferencias son sólo significativas en la línea media o próximas a ella. (Lee et al 2010)

El seno frontal presenta una situación anatómica crítica, de ahí su importancia en el manejo quirúrgico del mismo. Posteriormente, la lámina cribiforme, la duramadre y los lóbulos frontales están en íntima relación con la pared posterior del seno. El seno sagital superior emana del foramen cecum y se aloja directamente contra la pared posterior del seno, siendo vulnerable en traumatismos penetrantes o con afectación de la pared posterior. Su afectación habitualmente es rara gracias a la disposición dural en dicho nivel. La duramadre está densamente adherida a la superficie profunda de la tabla posterior, en especial en su borde caudal, donde incluso es más fina. En dicha región tapiza la *fovea ethmoidalis*. El techo de la órbita y el conducto nasofrontal permanecen en situación inferior.

El conducto nasofrontal, que drena el seno frontal exclusivamente, es un foramen localizado en la región posteromedial del suelo del seno. Cada seno drena en la porción anterior de su correspondiente meato nasal medio, atravesando la parte anterior del laberinto etmoidal. Su trayecto es

altamente variable, dirigiéndose caudalmente desde unos pocos milímetros hasta 2 cm. Un verdadero conducto identificable puede estar ausente hasta en un 85% de los senos frontales. En estas situaciones, el seno frontal drena indirectamente a través de las celdillas aéreas etmoidales en el meato medio (Rohrich y Hollier 1992). Un septum intersinusal separa ambos lados. Cuando este septum es asimétrico, la crista galli muestra varios grados de neumatización y protrusión dentro del seno. En esta situación, existe mayor riesgo quirúrgico mayor de penetración en la fosa craneal anterior a través de los surcos olfatorios.

Tras la completa neumatización del esqueleto facial, las relaciones de la placa cribiforme con el seno frontal y etmoidal cambian, asumiendo dicha placa una posición inferior a las celdillas etmoidales que lo rodean y caudal al seno frontal.

Un hallazgo significativo en el seno frontal es la mucosa que lo tapiza, contigua con la de las celdillas etmoidales y el ducto nasofrontal. Se trata de un epitelio ciliado pseudoestratificado con células productoras de moco, glándulas seromucosas y una fina membrana basal. Mosher y Judd describieron los agujeros de Breschet hace más de 60 años. Son zonas de drenaje venoso de la mucosa y pueden servir como ruta de diseminación intracraneal de procesos infecciosos. Adicionalmente la mucosa se encuentra profundamente invaginada en los agujeros y puede ser el foco de formación de mucocelos si su eliminación es parcial tras la obliteración o cranealización del seno en su manejo quirúrgico.

La vascularización arterial se produce a través de ramas diploicas desde la arteria supraorbitaria en su paso desde la órbita a la frente. También recibe vascularización desde ramas de la arteria etmoidal anterior.

El drenaje venoso se produce a través de la vena angular y vena facial; el drenaje profundo se realiza a través de los citados forámenes de Breschet, los cuales comunican directamente con el sistema venoso subdural en el espacio subaracnoideo.

Poco se sabe acerca de la función del seno frontal. Aunque no ha sido probado, se ha descrito un mínimo papel en relación con la respiración, olfacción, vocalización, regulación térmica y barorregulación. En ninguno de los pacientes a los que se les ha realizado obliteración del seno frontal han referido o se ha documentado disminución en alguna de las funciones descritas previamente.

1.D. BIOMECÁNICA y EPIDEMIOLOGÍA

Tradicionalmente, la geometría combinada con la observación del comportamiento de los sistemas mecánicos han sido y son empleados para describir y predecir el comportamiento futuro de nuevos sistemas más complejos.

Para mejorar los métodos de tratamiento quirúrgico de las fracturas faciales, es muy útil la comprensión de las fuerzas biomecánicas subyacentes a las mismas.

Las fracturas del seno frontal son habitualmente producidas por impactos directos anteriores en el tercio superior facial (Metzinger 2009). Se requieren fuerzas de 800-2200 *pounds* para fracturar el hueso frontal (Manolidis 2004). Esta fuerza es 2-3 veces superior a la fuerza tolerada por cualquier otro hueso facial (Helmy et al 1990). Sin embargo, a pesar de la tremenda fuerza que se precisa para fracturar el seno frontal, los pacientes presentan un status neurológico relativamente bueno en general. Puede ser debido al hecho de que la fuerza generada tras el impacto frontal directo sea absorbida parcialmente por la propia estructura del hueso frontal.

Dadas las fuerzas requeridas para fracturar el seno frontal, con muy poca frecuencia estas fracturas se encuentran aisladas; en un 80-95% de los casos se asocian con otras fracturas faciales y en más del 50% con otras fracturas craneales (Manson 1990).

Cuando se producen impactos significativos directos sobre el hueso frontal se propagan rápida y extensamente a lo largo del complejo nasoetmoidoorbitario, que presenta significativamente menor resistencia. Fuerzas capaces de fracturar la pared anterior con relativa frecuencia afectarán la pared posterior así como estructuras de la fosa craneal anterior como la *fovea ethmoidalis* y la placa cribiforme.

La geometría del impacto es también un factor significativo en las fracturas del seno frontal. El impacto directo con objetos punzantes imparte una fuerza elevada en una superficie frontal reducida mientras que objetos pesados romos transfieren una energía elevada en una mayor superficie. Impactos directos por arma de fuego y precipitaciones de gran altura invariablemente provocan fracturas de pared anterior-posterior con afectación de la base craneal anterior (Manolidis 2004).

Las fracturas del seno frontal suponen de un 2-12% de las fracturas craneales y un 8% de las fracturas faciales según las distintas series (5-15%) (Ioannides et al 1993)

Los pacientes con fracturas del seno frontal presentan un nivel socioeconómico y un patrón de distribución por edad y sexo similar al resto de fracturas faciales. El patrón *standard* ya descrito por Wallis y Donald en 1988 podría coincidir con un varón joven que sufre el impacto tras un accidente de coche.

1.E. CLASIFICACIÓN, CLÍNICA y DIAGNÓSTICO

La clasificación más ampliamente aceptada de las fracturas del seno frontal es la propuesta por Rohrich y Hollier en 1992:

1. Tipo I. Fracturas de la pared anterior.
 - a. Aisladas
 - b. Asociadas a fractura del reborde supraorbitario.
 - c. Asociadas a fracturas NEO
2. Tipo II. Fracturas de pared anterior y posterior.
 - a. Lineales
 - b. Conminutas
 1. Ambas paredes
 2. Asociado a fractura NEO
3. Tipo III. Fracturas de pared posterior.
4. Tipo IV. Fracturas “*through and through*”

Independientemente del tipo de fractura, puede existir afectación o no del conducto nasofrontal. El tipo IV incluye aquellas fracturas con herida/s cutáneas, fractura de la pared anterior-posterior del seno frontal, desgarradura y contusión frontal.

Una exhaustiva planificación prequirúrgica ha de incluir una anamnesis detallada si el nivel de conciencia lo permite, exploración clínica neurológica, oftalmológica y de cabeza y cuello. Debe incluir también la evaluación de cirugías anteriores detallando abordajes previos, ligaduras

arteriales, técnicas reconstructivas empleadas y valoración de las secuelas así como historia previa de anomalías craneofaciales congénitas o adquiridas.

El diagnóstico clínico de las fracturas del seno frontal es a menudo complejo dada la presencia de edema-hematoma local. Los signos clínicos incluyen laceraciones frontales, alteraciones sensitivas en el territorio de los nervios supraorbitarios, fistula de líquido cefalorraquídeo, equimosis conjuntival, contenido aéreo infraorbitario (Martello y Vasconez 1997), depresión o hundimiento palpable sobre el seno frontal (Ginsburg 1997) o fragmentos óseos apreciables a través de heridas faciales, alteraciones neurológicas, limitación motilidad ocular extrínseca y ptosis palpebral.

Holmgren et al (2005) clasifican las lesiones o laceraciones de las partes blandas frontales que significativamente pueden predecir la presencia de fracturas frontales subyacentes y que posteriormente puedan ser usadas como una guía para determinar la necesidad de solicitar un TAC facial. Las laceraciones frontales deben ser examinadas bajo condiciones estériles para explorar la integridad de la pared anterior sinusal, pared posterior y dura. Fracturas *through and through* presentan alta morbilidad y requieren tratamiento quirúrgico urgente. La presencia de fistula de LCR puede ser diagnóstica por la mera exploración clínica. El test del halo y la determinación de Beta-2 transferrina confirman el diagnóstico.

La asociación con otras fracturas mediofaciales y nasoetmoidales es frecuente, de ahí la necesidad de exploraciones faciales completas. Las fracturas del seno frontal y del techo orbitario implican la mayor incidencia de alteraciones oculares en relación al resto de fracturas faciales. Se deben valorar la agudeza visual, los reflejos pupilares y los movimientos oculares extrínsecos.

No existe contraindicación para la realización de un CT axial como prueba de examen inicial en el manejo de un traumatismo craneofacial agudo. La realización de cortes tomográficos coronales (centrados en la posible afectación del ducto nasofrontal) o sagitales y la reconstrucción tridimensional aportan detalles adicionales en la evaluación del paciente. Los CT convencionales a menudo son inadecuados para demostrar fracturas de base de cráneo o su extensión completa.

La Tomografía Axial Computerizada (TAC) fue creada por Sir Godfrey Hounsfield (Premio Nobel de Medicina en 1979) La radiología no podía representar en una película de 2 dimensiones un objeto que tiene tres. Creado en 1972, introduce el cambio ya que mide la absorción del haz de

rayos X cuando pasa por secciones del cuerpo desde cientos de ángulos. El tubo de rayos X y los detectores realizan un giro alrededor del paciente con lo que los detectores reciben un gran número de valores en cada punto de medición del plano estudiado.

La tomografía axial computerizada de alta resolución (con cortes finos cada mm axiales, coronales y sagitales) es la prueba de imagen más valiosa ya que nos muestra las posibles alteraciones de partes blandas, hueso y conducto nasofrontal (Harris et al 1987), aunque la alteración de éste último no siempre es sencilla de diagnosticar. Los cortes axiales nos dan la mejor información acerca de las paredes anterior y posterior; los cortes coronales valoran la integridad del suelo sinusal y techo orbitario y los sagitales para evaluar el receso frontal. (Strong 2009) La reconstrucción tridimensional nos ayuda a valorar la posible deformidad estética frontal creada. (Heller et al 1989). Permite la visualización de la anatomía, morfología y extensión de las fracturas de base de cráneo. La reconstrucción tridimensional es útil para identificar el patrón de fractura, aunque a menudo subestima su extensión. Evalúa simultáneamente la afectación extra e intracraneal, apreciándose lesiones parenquimatosas cerebrales tipo contusión, hemorragia... Tanto la presencia de fragmentos óseos intracraneales postraumáticos o cuerpos extraños como las lesiones orbitarias-oculares pueden ser diagnosticadas. Aporta información relativa al tamaño-alteración paredes sinusales. Junto con el examen clínico, permite la elaboración de un plan quirúrgico preoperatorio.

La presencia de defectos óseos en los cortes coronales de TAC y las secuencias T2 hiperintensas de RNM son muy útiles en el diagnóstico de fístulas de líquido cefalorraquídeo, encefaloceles y lóculos de líquido cefalorraquídeo localizados (Eljamel et al 1994).

Sin embargo, la dificultad en el diagnóstico radiográfico y la alta incidencia de complicaciones tardías en relación con las fracturas complejas del seno frontal obligan en muchas ocasiones a la exploración quirúrgica de las mismas. La afectación del conducto nasofrontal es una de las causas más comunes de complicaciones intracraneales. Habitualmente no es posible su estricta evaluación sin su abordaje quirúrgico.

2. OBJETIVOS

1. Demostrar si existe diferencia estadísticamente significativa entre la densidad ósea (HOUNSFIELD UNITS, HU) de los senos frontales obliterados con viruta ósea de calota frente a los obliterados con viruta ósea de calota asociada a DBX.

La densidad ósea incrementada del seno frontal tras controles seriados favorece el seguimiento radiológico de los pacientes y la posible detección precoz de patología sinusal postraumática (patología inflamatoria sinusal, fístulas de líquido cefalorraquídeo) (Fig. 1).



Fig.1. Osificación sinusal derecha completa que favorece el seguimiento radiológico del paciente.

2. Cuantificar si existe diferencia estadísticamente significativa entre las densidades óseas obtenidas en ambos grupos respecto a valores de densidad ósea media de referencia (HU del hueso temporal y frontal) (Fig 2-3).



Fig. 2. Valor de referencia individual temporal.

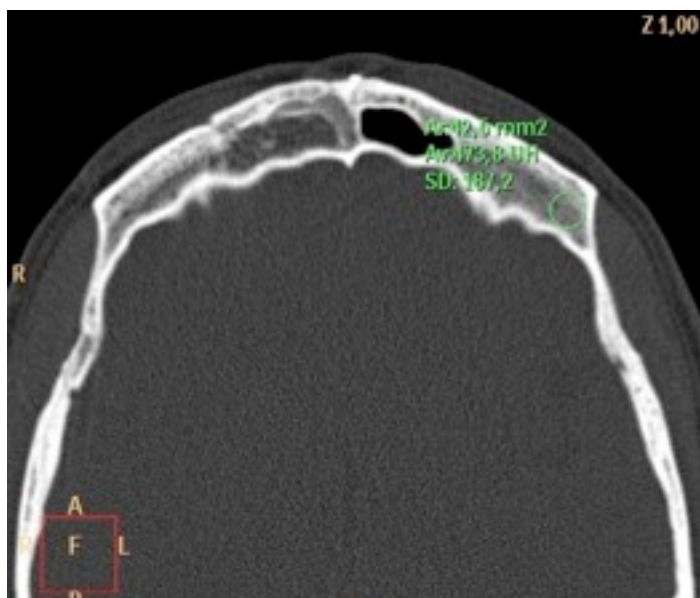


Fig. 3. Valor de referencia individual frontal.

3. Confirmar, tras el análisis de las posibles complicaciones, que tanto la obliteración del seno frontal con viruta ósea de calota exclusivamente o asociada a DBX son métodos fiables para el relleno de cavidades óseas incluso en enclaves anatómicos complejos y relevantes. Confirmar su utilidad en el seguimiento radiológico mediante TAC de alta resolución.

4. Validación del abordaje subcraneal como vía de acceso a la base craneal anterior tras el análisis de las posibles complicaciones asociadas (morbimortalidad). El manejo adecuado y sistematizado de las diferentes técnicas implicadas en el acceso y reconstrucción de la base craneal es trascendental para obtener unos buenos resultados estético-funcionales y evitar complicaciones que pongan en riesgo el resultado global de la cirugía.

3. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS

Hipótesis conceptual: la obliteración sinusal mediante abordaje subcraneal con hueso autólogo es un método versátil y eficaz en el tratamiento de la patología postraumática frontal desde el punto de vista de la morbilidad del paciente.

Hipótesis operativa: la obliteración sinusal con viruta ósea de calota asociada a DBX (con potencial osteoinductor) cumple con los objetivos previos y favorece sustancialmente el seguimiento radiológico mediante TAC de los pacientes intervenidos, incrementando la posibilidad de diagnosticar de manera precoz las complicaciones asociadas que puedan surgir en el postoperatorio del paciente.

Ho: No existe diferencia estadísticamente significativa entre la densidad ósea (HU) medida cuantitativamente tras la obliteración del seno frontal con viruta ósea de calota y con viruta ósea de calota asociada a Demineralized Bone Matrix (DBX).

Alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa en los valores de densidad ósea en el grupo de viruta ósea al comparar los valores obtenidos a los 6 y 24 meses.

Alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa en los valores de densidad ósea en el grupo de viruta ósea asociada a DBX al comparar los valores obtenidos a los 6 y 24 meses.

Alternativa: No existe diferencia estadísticamente significativa entre las densidades óseas obtenidas en los dos grupos anteriores con respecto a los valores de referencia (densidad ósea a nivel del hueso frontal y temporal)

Alternativa: No existe diferencia estadísticamente significativa entre las complicaciones sucedidas en el postoperatorio de pacientes con obliteración del seno frontal mediante viruta ósea de calota exclusivamente o mediante viruta ósea de calota asociada a DBX.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio prospectivo aleatorio controlado de 60 senos frontales postraumáticos intervenidos en el Servicio de Cirugía Oral y Maxilofacial del Hospital Universitario 12 de Octubre entre enero de 2004 y enero de 2008. Todos los pacientes son intervenidos por el primer autor.

Se realiza el análisis de la regeneración-densidad ósea (HU) obtenida tras la obliteración del seno frontal mediante abordaje subcraneal. Las Unidades Hounsfield (HU) son la información numérica que representa la densidad del tejido (TABLA 1).

El estudio se inicia con la creación de una base de datos (SPSS 15.0) donde se recogen datos epidemiológicos de los pacientes, patología asociada en el momento del traumatismo (fracturas craneomaxilofaciales asociadas, lesiones neuroquirúrgicas-oftalmológicas, traumatismos toracoabdominales o de miembros), descripción exhaustiva de la técnica quirúrgica y complicaciones en el seguimiento postoperatorio del paciente.

Los criterios de inclusión son:

1. Pacientes con patología traumática del seno frontal que implique la obliteración del mismo, según algoritmos descritos por Rohrich y Hollier (1992) (Anexo)
2. Pacientes médicamente estables para realizar el procedimiento quirúrgico propuesto.
3. Todos los pacientes serán intervenidos a través de un abordaje subcraneal. El procedimiento quirúrgico planteado incluye abordaje coronal en zigzag o a través de heridas frontales; abordaje al seno frontal a través de las fracturas de la pared anterior; exéresis de la mucosa sinusal-fresado de las paredes sinusales (Fig. 4); obturación del ducto nasofrontal (Fig. 5); obliteración del seno frontal con viruta ósea de calota o viruta más DBX (Fig. 6) y osteosíntesis de la pared anterior del seno frontal fracturada (miniplacas de titanio de 1.3mm Synthes-Stratec Medical, Oberdorf, Switzerland, Fig. 7) (Zubillaga et al 2009).

Agua	0 a -10
Grasa	-10 a -40
Sangre	+50 a +80
Tejidos Blandos	+20 a +80
Aire	-1500
Hueso Esponjoso	+150 a +400
Hueso Cortical	+400 a +750
Metal	+2000

TABLA 1. Unidades Hounsfield (HU) de los distintos tejidos.

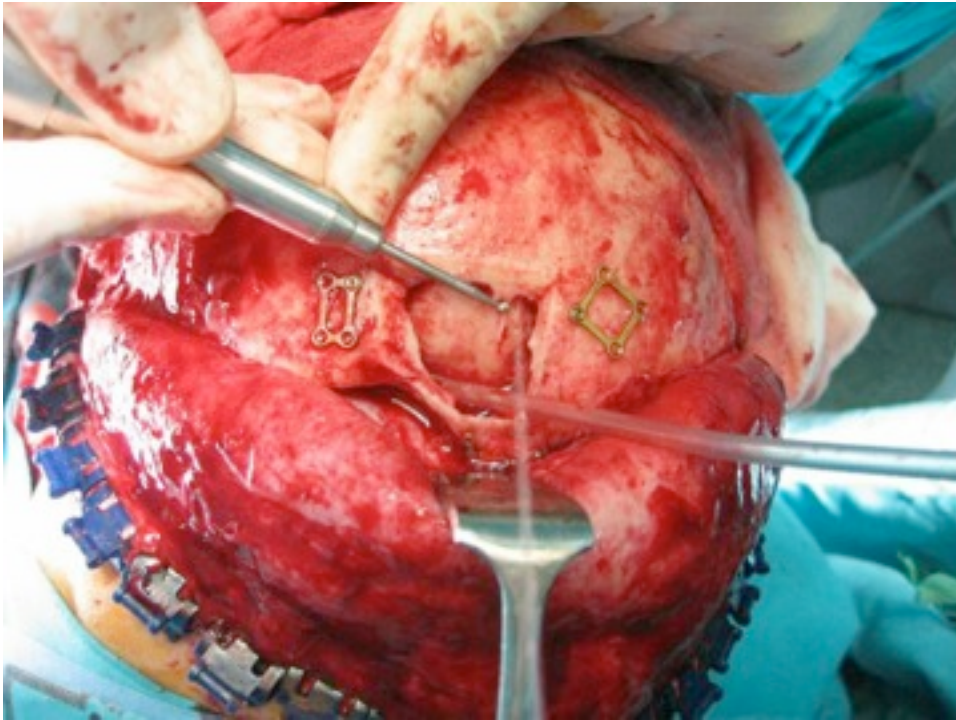


Fig. 4. Fresado de la cortical interna sinusal para eliminar invaginaciones de la mucosa frontal.



Fig. 5. Obturación del ducto nasofrontal con calota craneal.



Fig. 6. Obliteración sinusal con el material elegido.



Fig. 7. Osteosíntesis con miniplacas de titanio en la pared anterior del seno frontal.

Si las fracturas de la pared anterior no permiten un adecuado manejo del seno frontal, se complementa el abordaje con osteotomía subcraneal de la pared anterior sinusal. En la fase final de osteosíntesis de la pared anterior fracturada se fija también el colgajo óseo realizado.

El criterio de exclusión del estudio implica la pérdida del seguimiento clínico-radiológico del paciente por motivos extrahospitalarios.

Se crean 2 grupos de estudio, siendo aleatoria la inclusión en cada uno de ellos:

Grupo 1. 30 senos frontales con patología traumática intervenidos mediante abordaje subcraneal y obliteración del seno frontal con viruta ósea de calota exclusivamente.

Grupo 2. 30 senos frontales con patología traumática intervenidos mediante abordaje subcraneal y obliteración del seno frontal con viruta ósea de calota y 5cc de Demineralized Bone Matrix (DBX).

La obtención de hueso de calota craneal presenta una mínima morbilidad residual en el área donante. La proximidad al campo quirúrgico es fundamental a la hora de elegir dicho hueso. La toma de los injertos para la obliteración del seno se realiza mediante un rascador de hueso bajo irrigación externa asociada (Autogenous, Mozo Grau, España) (Fig. 8). De esta manera se obtienen virutas de calota procedentes de la tabla externa craneal (Fig. 9) excelentes para un relleno eficaz de la cavidad sinusal frontal (Fig. 10).

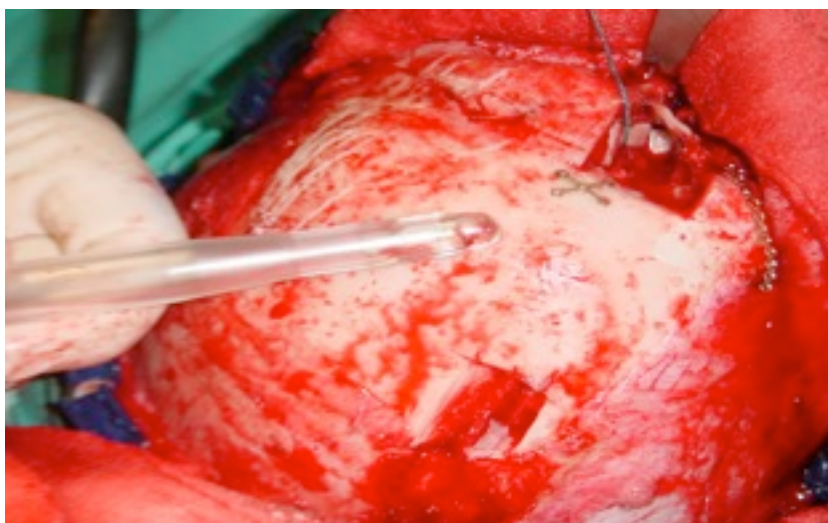


Fig. 8. Rascador óseo empleado en la obtención de viruta de calota.

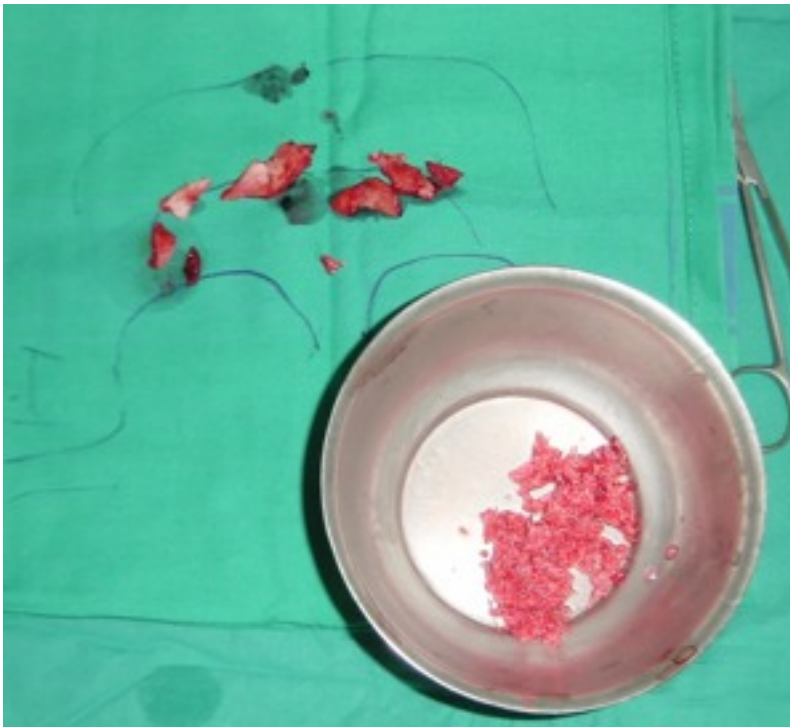


Fig. 9. Virutas óseas de calota junto con fragmentos de la pared anterior del seno frontal.

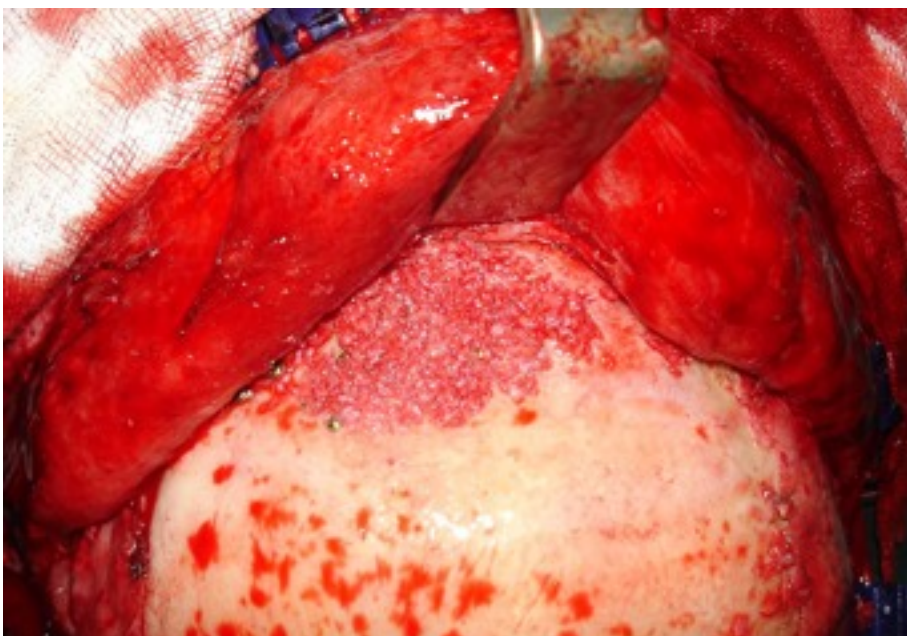


Fig. 10. Obliteración completa del seno frontal con virutas óseas de calota.

En los senos frontales que van a ser obliterados con viruta más DBX, se mezclan en una cubeta metálica formando el material de relleno empleado en la obliteración sinusal (Fig. 11). Se emplearon 5 cc de DBX junto con viruta ósea en la obliteración de cada seno frontal tratado (Fig. 12). Tras la obliteración se realiza la reposición de la pared anterior sinusal fracturada realizando osteosíntesis con miniplacas de titanio de 1.3mm (Synthes-Stratec Medical, Oberdorf, Switzerland).



Fig. 11. Viruta ósea de calota + 5cc de DBX.



Fig. 12. Aspecto final tras la mezcla de viruta con DBX.

Las variables a determinar en el estudio son las siguientes:

1. Datos epidemiológicos: edad, sexo, raza.
2. Etiopatogenia.
3. Patrones de fracturas frontales.
4. Lesiones asociadas craneomaxilofaciales, neuroquirúrgicas y oftalmológicas.
5. Análisis de pruebas de imagen postoperatorias. Densidad ósea (HU) de los senos frontales tratados en ambos grupos. Densidad ósea de referencia (HU del hueso frontal y temporal).
6. Morbilidad-complicaciones postoperatorias clínicas. Reintervenciones quirúrgicas.
7. Mortalidad.

Se propone, además del seguimiento clínico habitual del paciente (1,3,6, 12 meses y posteriormente revisión anual si no existen complicaciones), un seguimiento radiológico mediante TAC de alta resolución en las siguientes fechas y con los objetivos citados a continuación:

1. TAC frontal de alta resolución a los 6 meses de la cirugía inicial.

El objetivo es la determinación cuantitativa (Media +/- Desviación típica) de la densidad ósea (HU) obtenida en los senos frontales de ambos grupos. Se compararán los resultados obtenidos en ambos grupos entre sí y con respecto a valores de referencia de densidad ósea obtenidos del hueso temporal-frontal del mismo paciente.

Por otra parte, se analizarán las posibles complicaciones postoperatorias derivadas del abordaje y técnica quirúrgica propuestos en cuanto a tiempo de aparición , grupo de patología y tratamiento requerido, sea quirúrgico o no. Las complicaciones precoces son definidas como aquellas que ocurren en los seis primeros meses tras el tratamiento quirúrgico. En las complicaciones tardías se incluyen aquellas que se desarrollan a partir de los seis meses del tratamiento quirúrgico.

2. TAC frontal de alta resolución a los 24 meses de la cirugía inicial.

Los objetivos son los mismos que los explicados a los 6 meses, estableciendo ya en este caso una lista de conclusiones, tras el análisis de los datos, referentes a la densidad ósea hallada en ambos grupos,

comparada entre sí y con el valor de referencia citado, y en cuanto a las complicaciones sucedidas durante el periodo del estudio.

Todos los estudios han sido realizados en una estación de trabajo “EXTENDED BRILLIANCE WORKSPACE” (Philips). Es una estación de trabajo independiente que proporciona diferentes técnicas de tratamiento de imágenes así como funciones avanzadas de reconstrucción, análisis, reformateo, reproducción y archivo. Incorpora un monitor plano de 19” TFT de alta resolución en color, antiparpadeo, con controles de brillo ajustables, 256 escalas de grises y 16 millones de colores para texto y más de 4 millones de colores para imágenes a una frecuencia de 120 MHz. La matriz de presentación de imágenes es de 1280 x 1024 pixeles, no entrelazada, y puede ser dividida en minipantallas de visión seleccionables independientemente por el operador.

Con ello obtenemos nuestras unidades de trabajo o Unidades Hounsfield.

Las Unidades Hounsfield (HU) son la información numérica contenida en cada pixel. Se utiliza para representar densidad del tejido. La memoria del ordenador realiza una reconstrucción de los datos recibidos y mediante fórmulas matemáticas (transformada de Fourier) asigna a cada volumen (Voxel) un valor de absorción que se representa en un solo plano (Pixel). A mayor pixel y menor voxel mas calidad en nuestro estudio. El monitor y el ojo humano no es capaz de distinguir entre 12-16 escalas de grises, en cambio el ordenador es capaz de distinguir entre 4000-5000 tipos.

Características de la estación de trabajo:

Plataforma “DELL Precision 670”

Doble procesador “Intel Xeon” multifunción

Frecuencia mayor 3 GHz en cada procesador

Memoria RAM 4 GB

Sistema operativo Windows XP

Disco de archivo de imágenes:

Disco magnético con capacidad total de 146 GB, que almacena un total de 257.121 imágenes (512 x 512)

Grabadora de DVD que incluye visualizador de imágenes DICOM y almacena hasta 4.1 GB (equivalente a 6300 imágenes de 512 x 512)

Incluye los siguientes softwares:

1. CT VIEWER. Diseñado para manejar los datos generados por los TAC multicortes. Combinando varios visualizadores en una aplicación unificada, reduce el tiempo del exámen al eliminar la necesidad de pasar de un visualizador a otro. Permite visualizar diferentes planos en tiempo real, crear una nueva serie de datos con orientación ortogonal u oblicua y variar el espesor de dichas imágenes.
 - a) Slab. Herramienta de inspección interactiva para una sección del volumen adquirido. Permite una revisión rápida de una gran cantidad de imágenes eliminando complejas segmentaciones.
 - b) Planar (MPR). Reformatea en tiempo real las imágenes en cualquier plano definido: axial, coronal, sagital u oblicuo. Se define la cantidad de planos, posición, orientación, espesor y espaciado presentando las imágenes en tiempo real.
 - c) Volumen (Volume Rendering). Muestra el volumen total de datos para inspección directa. Permite visualizar las imágenes y rotar el volumen en diferentes planos y orientaciones en tiempo real. Se estudia un área de interés específica (ROI), en este caso , el seno frontal. Esta área se convierte en el eje de rotación en la pantalla. Facilita así el trabajo en determinadas localizaciones anatómicas que no pueden verse totalmente con una orientación simple. Calcula el volumen en cm^3 de un objeto representado en 3D.
2. RECONSTRUCCIÓN MULTIPLANAR (MPR). Permite generar imágenes reformateadas multiplanares en los planos axial, sagital y coronal. Es posible modificar el grosor del plano, posición, orientación, nº de imágenes mostradas y distancia entre las mismas.
3. RECONSTRUCCIÓN 3D. Permite sombreado ajustable, rotación y transparencia. Se puede visualizar un tipo de tejido especificado transparente así como un segundo tipo de tejido para que sea visible tras él. El grado de transparencia puede variar sobre 256 niveles. Incluye posibilidad de transparencia de de tejidos y superposición del volumen 3D al corte multiplanar. Simulación de vía de entrada quirúrgica. Las imágenes pueden ser mostradas en modo cine. La velocidad y dirección de las mismas puede ser ajustada.
4. ANÁLISIS EN 3D DE VOLÚMENES PEQUEÑOS

Se emplean como software adicionales IMAGE FUSION y BONE MINERAL ANALYSIS (Philips).

Todas las imágenes empleadas en el estudio son DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) Es un protocolo de intercambio de archivos médicos entre sistemas. Agrupa la información en un conjunto de datos (no puede ser separado y abierto, necesita de su conjunto para ser ejecutado).

Método estadístico (recogida y análisis de datos):

Respecto a la estadística descriptiva, el resumen de la información de las variables tratadas se presentará, para aquellas que son cualitativas o no numéricas, mediante su distribución de frecuencia absoluta y porcentaje. Las variables numéricas o cuantitativas se describirán mediante sus medidas de tendencia central, media o mediana, acompañadas de las medidas de dispersión, desviación estándar o rango intercuartílico.

Respecto a la estadística analítica, se evaluará la asociación entre variables cualitativas con el test de la ji-cuadrado o la prueba exacta de Fisher. Se analizará la relación entre variables cuantitativas y variables cualitativas con dos categorías mediante el test de la t de student. En caso de incumplir la normalidad, se utilizarán test no-paramétricos. La asociación entre variable cuantitativas se estudiará mediante el coeficiente de correlación de Spearman, según distribución de las variables.

El uso de los modelos de regresión de efectos-mixtos evaluará las respuestas continuas relacionándolas con una o varias variables, permitiendo capturar, por un lado, la variabilidad existente entre las mediciones propias del individuo, y por otro, la variabilidad propia entre individuos. Los coeficientes de la regresión nos permitirán evaluar el cambio que produce el aumento en una unidad de la variable independiente en la variable respuesta.

Todos los resultados son estratificados según grupo o lado.

Todos los resultados serán presentados a un nivel de confianza del 95%.

El análisis de los datos y los gráficos serán generados usando *Stata Statistical Software*.

Entre las limitaciones del estudio podemos mencionar que a pesar del tratamiento quirúrgico adecuado de la patología traumática del seno frontal, se han descrito en la literatura complicaciones a largo plazo (más de 2 años) que no podrían ser objeto del estudio en todos los pacientes. En cualquier caso, el inicio del estudio data de 2004, de manera que un grupo importante de pacientes tienen un seguimiento a más largo plazo que el objetivo de este estudio.

El investigador principal y su equipo de colaboradores se comprometen a que cada paciente sea tratado y controlado siguiendo lo establecido en el protocolo autorizado por el Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Universitario 12 de Octubre y respetará las normas éticas aplicadas a este tipo de estudios.

Por otra parte, se entregará una hoja de información al paciente donde consta tipo de estudio y descripción general, investigador principal y Centro, beneficios y riesgos derivados de su participación, confidencialidad y ausencia de gastos para el paciente.

5. RESULTADOS

Analizamos los pacientes incluidos en la base de datos SPSS 15.0 con el fin de obtener inicialmente registros epidemiológicos.

60 senos frontales fueron tratados mediante abordaje subcraneal en 39 pacientes con patología traumática frontal. 33 eran varones y 6 mujeres. El rango de edad osciló entre 15 y 76 años, siendo la edad media de 36 años. El seguimiento medio es de 48 meses siendo el rango entre 24 y 84 meses. En relación al país de procedencia, 24 eran españoles, 9 sudamericanos y 6 procedentes de países de Europa del Este.

En los varones, 17 presentaban patología bilateral y 16 unilateral, resultando 50 senos frontales tratados. En las mujeres, 4 presentaban patología bilateral y 2 unilateral, resultando 10 senos frontales tratados.

Desde el punto de vista de la etiopatogenia traumática, el mecanismo de acción habitual es el impacto directo de alta energía en la región frontal tras accidente de tráfico (56%), precipitación tras accidente laboral (26%), agresiones (16%) y accidentes deportivos (2%).

En un 63% de los casos se trataba de pacientes politraumatizados. 60% de los pacientes presentaban fracturas frontales abiertas con heridas asociadas supraciliares o scalp frontal. La localización-dimensión de las heridas asociadas permitió el tratamiento a través de las mismas en 3 pacientes. En el resto fue preciso recurrir al abordaje coronal.

Clasificamos las fracturas del seno/s frontales según su localización, grado de desplazamiento y presencia de conminución (Zubillaga et al 2010). Así, el patrón de fractura más frecuente fue el bilateral con desplazamiento de pared anterior y fractura lineal posterior (23.6%) En orden decreciente se sitúan el patrón bilateral con conminución anterior y desplazamiento de pared posterior (16.3%); unilateral con desplazamiento anterior-fractura lineal posterior (14.3%); bilateral con desplazamiento anterior-posterior (9%); bilateral con fractura lineal anterior-posterior (6.6%); unilateral con desplazamiento anterior y posterior (6.6%); unilateral con fractura lineal anterior y desplazamiento posterior (6.6%); unilateral con desplazamiento anterior y conminución posterior (6.6%); bilateral con conminución anterior y fractura lineal posterior (3.3%); unilateral con conminución anterior y desplazamiento posterior (3.3%) y unilateral con fractura lineal anterior-posterior (3.3%).

En un 53.8% de los casos el septum intersinusal frontal se hallaba fracturado.

Respecto a las fracturas faciales asociadas (TABLA 2), un 76.6% se encontraban en el contexto de fracturas panfaciales. Las fracturas más frecuentemente asociadas fueron las del reborde supraorbitario (uni o bilateral, 86.6%) y de la pared medial orbitaria (uni o bilateral, 80%).

73.3% asociaban fracturas del esqueleto óseo nasal y 56.6% fractura del suelo orbitario (52% con desplazamiento y 48% sin desplazamiento). 53.3% presentaban fracturas orbitocigomáticas (63% de media energía, 33.3% de alta energía y 3.7% de baja energía). En relación con fracturas tipo Lefort, el subtipo más frecuente fue el II (23.3%), seguido del I y III (ambos 6.6%). La fractura nasoetmoidoorbitaria (NEO) más frecuente fue la tipo II unilateral, en un 26.6%. 3 pacientes presentaron fractura de mandíbula (2 dobles, parasinfisaria-cuerpo ipsilateral y parasinfisaria-subcondílea contralateral y 1 simple, parasinfisaria) en el contexto de fracturas panfaciales.

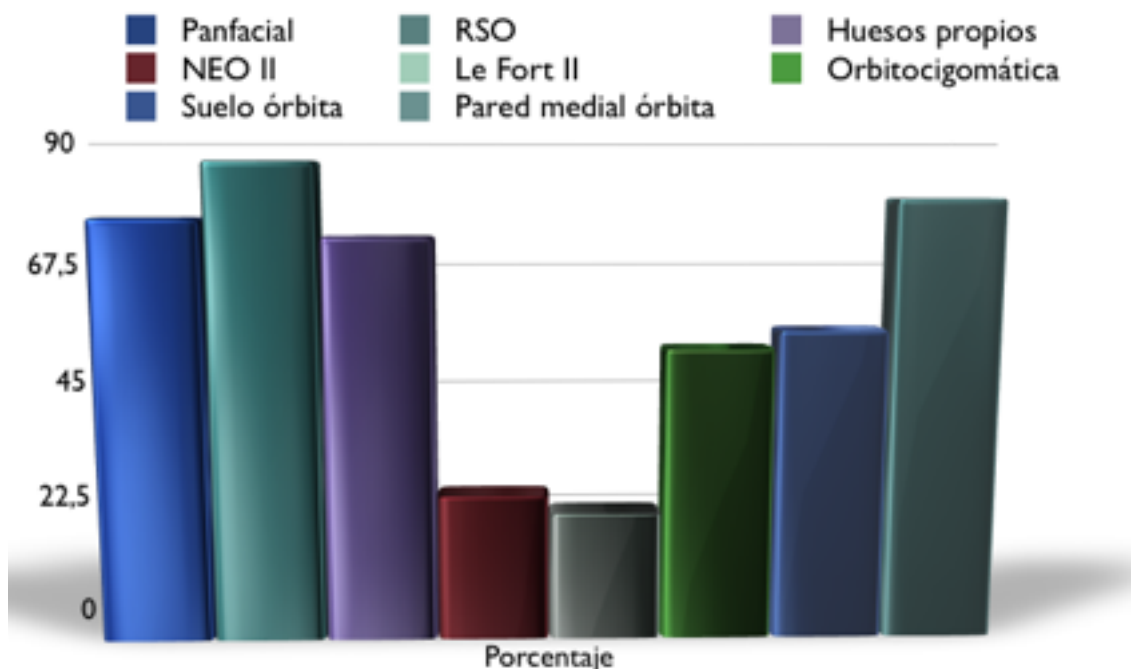


TABLA 2. Fracturas faciales asociadas a fracturas frontobasales.

Se detallan a continuación los signos neuroquirúrgicos (TABLA 3) y oftalmológicos que presentaban los pacientes en el momento agudo tras el traumatismo.

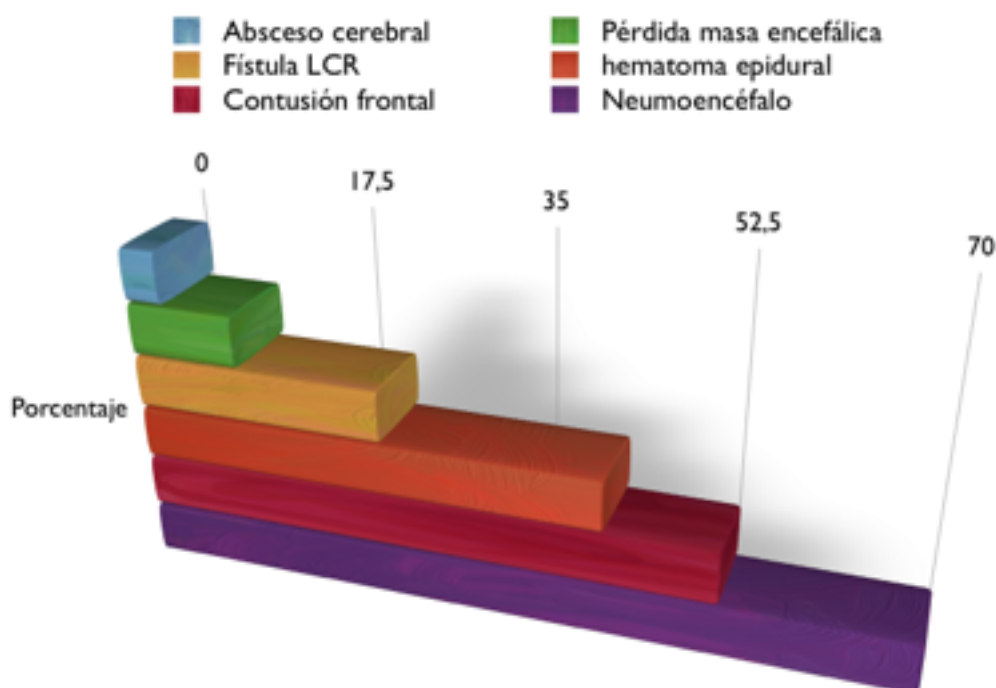


TABLA 3. Signos neuroquirúrgicos en fracturas frontobasales al ingreso.

Al ingreso hospitalario, el traumatismo craneoencefálico fue leve en el 56.6% de los casos, moderado en el 30% y grave en el 13.4%.

En el TAC cerebral inicial se objetivaba neumoencéfalo (70%), contusión frontal (53.3%) y hematoma epidural (43.3%). 7 pacientes presentaban fístula de líquido cefalorraquídeo activa en la exploración clínica inicial; 3 presentaron pérdida de masa encefálica frontal (fractura frontal “*through and through*”) y un paciente debutó con un absceso intraparenquimatoso que requirió su drenaje quirúrgico previo a la intervención definitiva subcraneal.

Respecto a las lesiones oftalmológicas, todos los pacientes presentaban equimosis conjuntival (56.7% bilateral y 43.3% unilateral). Se apreció neuropatía óptica postraumática en 9 pacientes, 3 de ellos con sección del nervio óptico. Otros signos asociados son el edema retiniano (16.7%), perforación ocular (10%) y uveítis anterior, desprendimiento de retina y luxación de cristalino (n=1).

En el contexto de pacientes politraumatizados, la patología traumática que más se asoció fue el trauma cervical, seguido de las contusiones costales.

La estancia media hospitalaria global fue de 13 días incluyendo la hospitalización en la Unidad de Cuidados Intensivos.

No existió mortalidad perioperatoria. No se produjo necrosis parcial-total de ningún colgajo óseo frontal.

Tras la realización de las pruebas de imagen de control a los 6 y 24 meses se determina la densidad ósea sinusal obtenida y las posibles complicaciones desarrolladas. Se registran en amarillo los valores estadísticamente significativos.

Los datos registrados de HU en ambos grupos se presentan a los 6 meses (TABLA 4) y a los 24 meses (TABLA 5).

HU6x if Grupo Viruta

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
HU6x	30	523.88	177.491	176.7	835.3

HU6x if Grupo Viruta + DBX

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
HU6x	30	158.6	60.06676	54.8	320.4

Ho: HU6x (Grupo Viruta) = HU6x (Grupo Viruta + DBX)

$$z = 6.372$$

$$\text{Prob} > |z| = 0.0000$$

TABLA 4. HU a los 6 meses en los 2 grupos.

HU24x if Grupo Viruta

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
HU24x	30	894.7733	215.4757	386.6	1284.7

HU24x if Grupo Viruta + DBX

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
HU24x	30	514.9933	178.3884	276.6	989.1

Ho: HU24x (Grupo Viruta) = HU24x (Grupo Viruta + DBX)

$$z = 5.189$$

$$\text{Prob} > |z| = 0.0000$$

TABLA 5. HU a los 24 meses en los 2 grupos.

La osificación obtenida (HU) en el grupo de viruta ósea es significativamente superior a la obtenida en el grupo de viruta ósea + DBX tanto a los 6 como a los 24 meses. En los gráficos de puntos se aprecian todas las mediciones en ambos grupos a los 6 (GRÁFICO I) y 24 meses (GRÁFICO II).

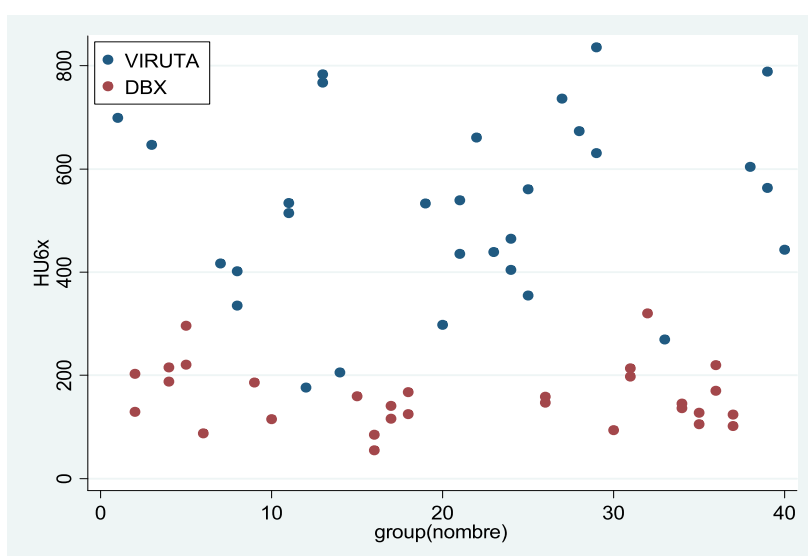


GRÁFICO I. HU a los 6 meses en ambos grupos.

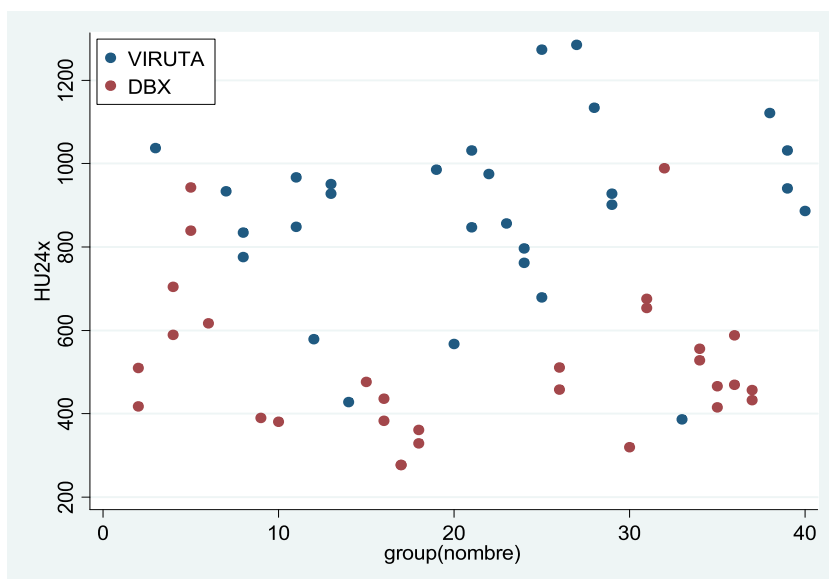


GRÁFICO II. HU a los 24 meses en ambos grupos.

No existe diferencia estadísticamente significativa en las medidas de HU de todos los senos tratados globalmente a los 6 (TABLA 6) y a los 24 meses (TABLA 7) en relación al lado tratado (derecho vs izquierdo).

HU6x if lado derecho

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
HU6x	33	359.797	225.7802	54.8	788.2

HU6x if lado izquierdo

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
HU6x	27	318.5593	228.974	85.3	835.3

Ho: HU6x (lado derecho) = HU6x(lado izquierdo)

$$z = 0.750$$

$$\text{Prob} > |z| = 0.4530$$

TABLA 6. HU a los 6 meses según seno frontal obliterado (derecho o izquierdo).

HU24x if lado derecho

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
HU24x	33	743.3091	275.7799	277.2	1273.7

HU24x if lado izquierdo

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
HU24x	27	657.9185	269.671	276.6	1284.7

Ho: HU24x (lado derecho) = HU24x(lado izquierdo)

$$z = 1.211$$

$$\text{Prob} > |z| = 0.2259$$

TABLA 7. HU a los 24 meses según seno frontal obliterado (derecho o izquierdo).

Los valores de HU en el grupo de viruta ósea de calota se muestran a los 6 y 24 meses (TABLA 8).

HU24x HU6x diferencia if Grupo Viruta

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
HU24x	30	894.7733	215.4757	386.6	1284.7
HU6x	30	523.88	177.491	176.7	835.3
diferencia	30	370.8933	142.1638	93	713

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	[95% Conf. Interval]
diferencia	30	370.8933	317.8085 423.9782

Ha: mean != 0

$$\text{Pr}(|T| > |t|) = 0.0000$$

TABLA 8. HU a los 6 y 24 meses en el grupo de viruta.

Se aprecia osificación progresiva de los senos obliterados con viruta tras resultar una diferencia estadísticamente significativa entre los valores de HU a los 6 y 24 meses (Fig. 13-14).

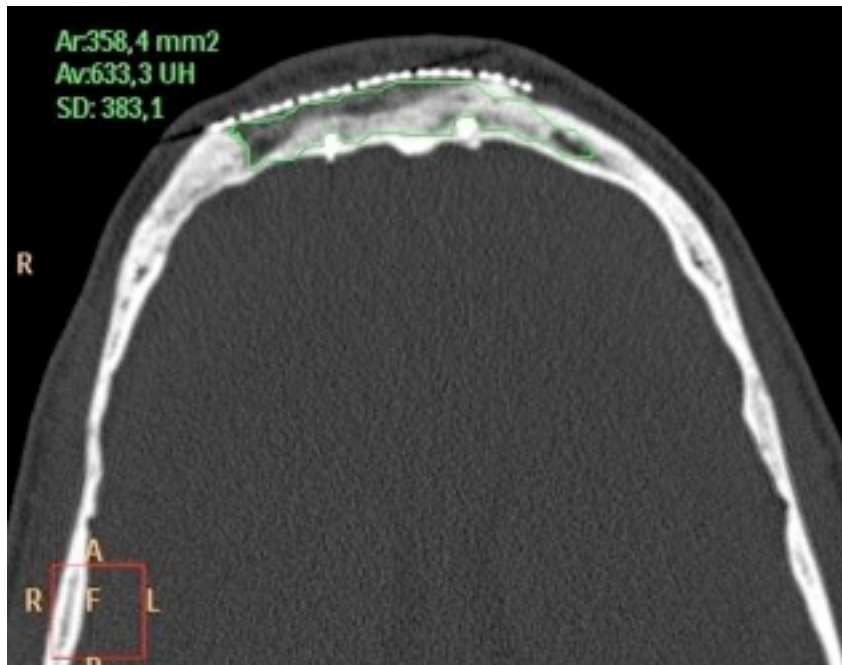


Fig. 13. HU en el grupo 1 (Viruta ósea) a los 6 meses.

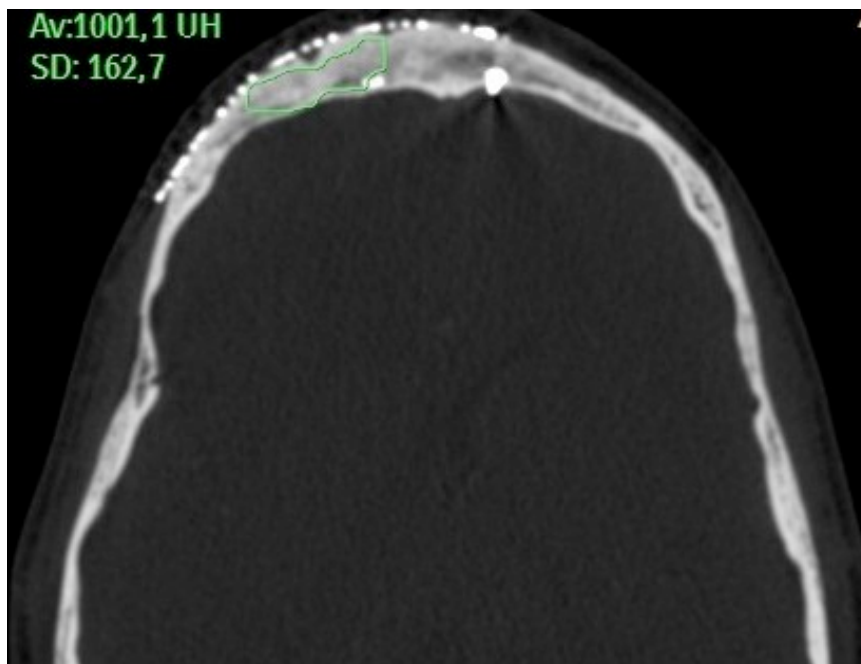


Fig. 14. HU en el grupo 1 a los 24 meses.

Asimismo existe un incremento significativo en los valores de HU en el grupo de viruta + DBX tras analizar los resultados a los 6 y 24 meses (TABLA 9).

HU24x HU6x diferencia if Grupo Viruta + DBX

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
HU24x	30	514.9933	178.3884	276.6	989.1
HU6x	30	158.6	60.06676	54.8	320.4
diferencia	30	356.3933	136.4703	135.2	668.7

One-sample t test

Variable	Obs	Mean	[95% Conf. Interval]
diferencia	30	356.3933	305.4345 407.3522

Ha: mean != 0

Pr(|T| > |t|) = 0.0000

TABLA 9. HU a los 6 y 24 meses en el grupo de viruta + DBX.

En cualquier caso, los valores de HU obtenidos en este último grupo son inferiores a los obtenidos cuando la obliteración se realiza con viruta ósea exclusivamente, tanto a los 6 como a los 24 meses.

La radiopacidad sinusal alcanzada está íntimamente relacionada con el tiempo postobliteración. Es significativamente mayor en los estudios analizados a los 24 meses postquirúrgicos.

En los senos obliterados con viruta + DBX, el análisis de la densidad del tejido óseo obtenido en los estudios realizados, incluso a los 6 meses, permiten la franca diferenciación de la posible patología sinusal inflamatoria desarrollada en el seno frontal (Fig. 15).

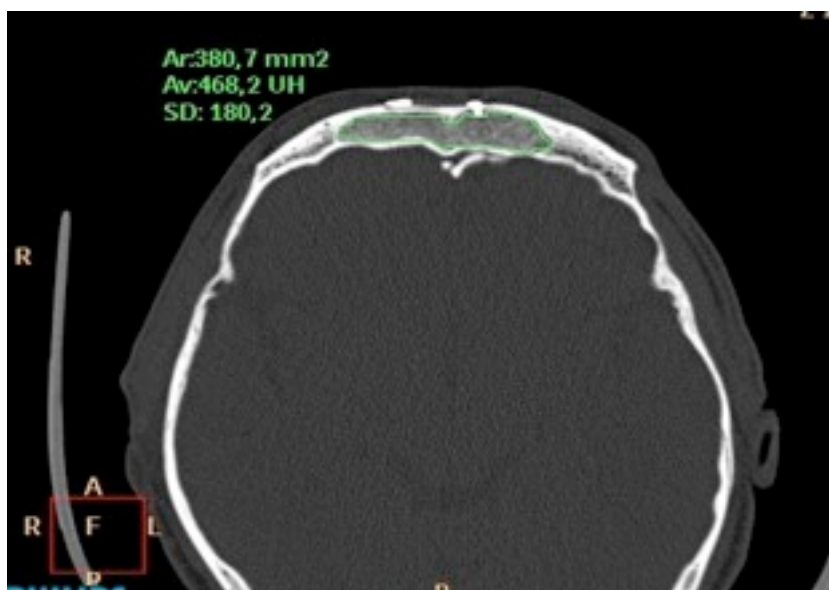


Fig. 15. Hueso esponjoso tras la obliteración con viruta ósea y DBX.

El hueso trabecular intrasinusal con islas residuales de DBX hallado en los estudios a corto plazo, a los 6 meses, se transforma en hueso cortical en los estudios realizados a los 24 meses (marcada progresión en la cantidad de hueso neoformado). Existe una correlación positiva entre el grado de densidad ósea alcanzado y por tanto radiopacidad radiológica y el tiempo postoperatorio (Fig. 16-17).

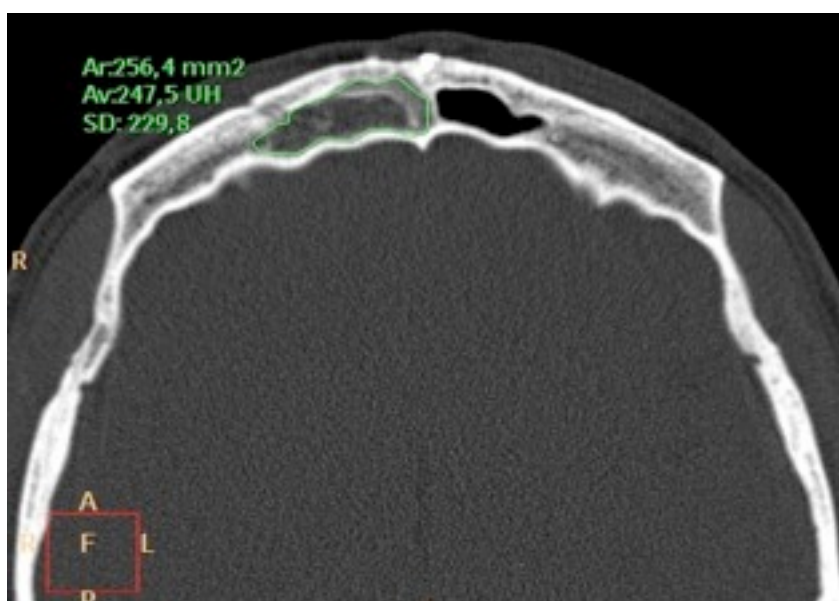


Fig. 16. HU en el grupo 2 (Viruta + DBX) a los 6 meses.

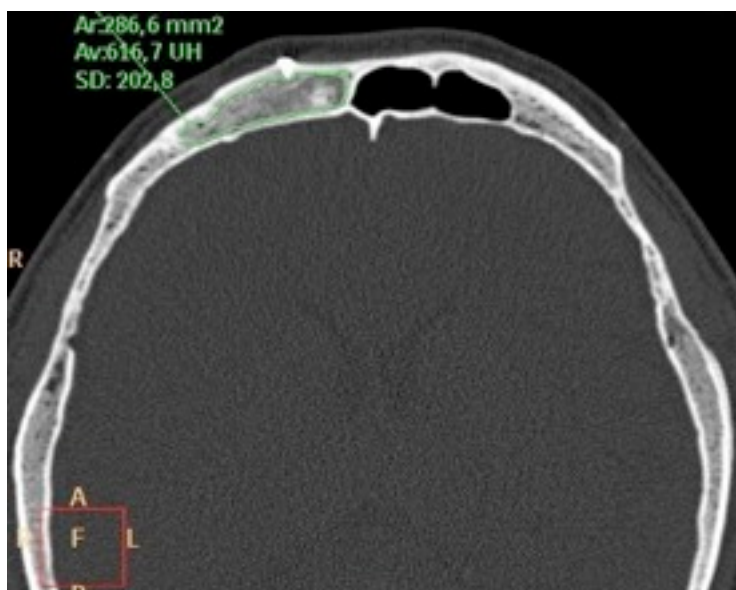


Fig 17. HU en el grupo 2 a los 24 meses.

Asimismo, se aprecia que la osificación sinusal tras la obliteración con virutas óseas de calota y DBX se produce de forma centripeta, iniciándose desde la periferia sinusal, próxima a la cortical interna de las paredes sinusales hacia el interior de la cavidad (Fig. 18). En el grupo de obliteración con viruta exclusivamente, la osificación del seno frontal es homogénea.

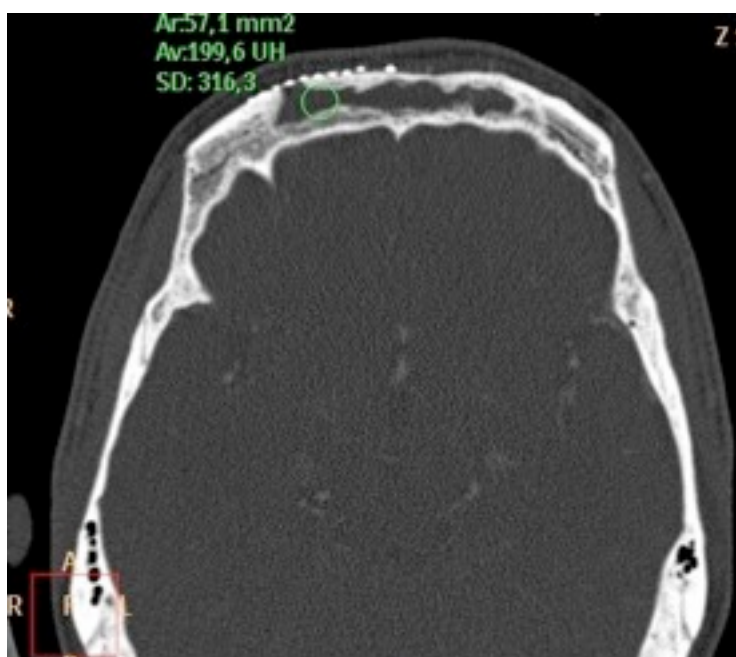


Fig. 18. Osificación periférica inicial en el grupo 2.

Comparamos los datos obtenidos de densidad ósea en ambos grupos, a los 6 y 24 meses y de forma independiente con valores de referencia del propio individuo medidos a nivel frontal (R1) y temporal (R2). Calculamos los datos de densidad ósea (HU) en los controles frontal y temporal según sexo, obteniendo las siguientes medias:

Media HU en varones en R1 (Frontal): 576,12 HU
 Media HU en mujeres en R1 (Frontal): 698,36 HU
 Media HU en varones en R2 (Temporal): 608,69 HU
 Media HU en mujeres en R2 (Temporal): 646,96 HU

No obtenemos diferencias significativas en los valores de HU en los puntos de referencia en relación con el sexo del paciente.

Se presentan a continuación los valores HU a los 6 y 24 meses en el grupo de viruta frente a R1 y R2 (TABLA 10) y en el grupo de viruta + DBX frente a los mismos valores de referencia (TABLA 11).

```
. spearman HU6x R1x if Grupo==1, stats(rho p)
Number of obs =      30
Spearman's rho =      0.3931
Test of Ho: HU6x and R1x are independent
Prob > |t| =      0.0317
```

```
. spearman HU6x R2x if Grupo==1, stats(rho p)
Number of obs =      30
Spearman's rho =      0.0537
Test of Ho: HU6x and R2x are independent
Prob > |t| =      0.7782
```

```
. spearman HU24x R1x if Grupo==1, stats(rho p)
Number of obs =      30
Spearman's rho =      0.5019
Test of Ho: HU24x and R1x are independent
Prob > |t| =      0.0047
```

```
. spearman HU24x R2x if Grupo==1, stats(rho p)
Number of obs =      30
Spearman's rho =      0.0294
Test of Ho: HU24x and R2x are independent
Prob > |t| =      0.8775
```

TABLA 10. Correlación en el grupo de viruta entre los valores de HU a los 6 y 24 meses y los valores de referencia frontal (R1) y temporal (R2).

```

. spearman HU6x R1x if Grupo==2, stats(rho p)
Number of obs =      30
Spearman's rho =      0.2769
Test of Ho: HU6x and R1x are independent
Prob > |t| =      0.1385

. spearman HU6x R2x if Grupo==2, stats(rho p)
Number of obs =      30
Spearman's rho =     -0.0720
Test of Ho: HU6x and R2x are independent
Prob > |t| =      0.7055

. spearman HU24x R1x if Grupo==2, stats(rho p)
Number of obs =      30
Spearman's rho =      0.2967
Test of Ho: HU24x and R1x are independent
Prob > |t| =      0.1113

. spearman HU24x R2x if Grupo==2, stats(rho p)
Number of obs =      30
Spearman's rho =      0.2027
Test of Ho: HU24x and R2x are independent
Prob > |t| =      0.2827

```

TABLA 11. Correlación en el grupo de viruta + DBX entre los valores de HU a los 6 y 24 meses y los valores de referencia frontal (R1) y temporal (R2).

Se establece que existe correlación positiva (entre 0 y 1) en el grupo de viruta entre los valores de HU medidos a los 6 y 24 meses y los valores de HU de referencia (R1 y R2).

Estos valores implican que al encontrar un valor alto de HU a los 6 ó 24 meses en el grupo de viruta, encontraremos un valor alto de HU en los puntos de referencia (R1 o R2)

Sin embargo, esta correlación sólo adquiere significación estadística ($p < 0.05$) al correlacionar los valores de HU a los 6 y 24 meses frente a los valores de referencia frontal (R1).

Por otra parte, en el grupo de viruta + DBX, existe correlación positiva (entre 0 y 1) entre los valores de HU medidos a los 6 y 24 meses y los valores de HU de referencia (R1 y R2) excepto en los valores de HU a los 6 meses correlacionados con R2, donde el resultado es negativo. En este grupo de viruta +DBX, ningún valor adquiere significación estadística.

Los software aplicados permiten medir en cc^3 los volúmenes de los senos obliterados con viruta y con viruta + DBX (Fig. 19). El volumen medio osificado de senos con viruta ósea es de $4,301 \text{ cc}^3$ y en el caso de viruta ósea + DBX es de $6,179 \text{ cc}^3$.



Fig. 19. Volumen del seno frontal osificado tridimensionalmente.

En ambos casos es importante reseñar que no existe pérdida de volumen óseo obtenido en los CT a los 24 meses comparados con los CT a los 6 meses. Incluso en pacientes con seguimiento a más largo plazo se objetiva estabilidad en el volumen óseo conseguido en el seno frontal.

COMPLICACIONES

Analizamos a continuación las posibles complicaciones postoperatorias derivadas del tratamiento quirúrgico realizado en cuanto a tiempo de aparición, tipo de complicación y tratamiento requerido, quirúrgico o no.

Seis de los 39 (n=39) pacientes intervenidos (15.38 %) presentaron complicaciones postquirúrgicas, cinco de ellos precisaron una reintervención.

Definimos las complicaciones precoces como aquellas que ocurren en los 6 primeros meses tras el tratamiento quirúrgico. En las complicaciones tardías se incluyen aquellas que se desarrollan a partir de los seis meses del tratamiento quirúrgico.

Dos pacientes presentaron complicaciones precoces (33.33 %) y 4 tardías (66.66%).

El número total de senos intervenidos fue 60. Ésto implica que en algunos pacientes (n=21) las fracturas tratadas fueron bilaterales. Independientemente de la afectación uni o bilateral, las complicaciones se relacionaron siempre con un solo seno frontal.

Se realiza la estadística descriptiva respecto al número total de senos intervenidos.

Complicaciones precoces

Surgen 2 complicaciones precoces (3.33%) en los 60 senos frontales tratados. Se desarrollaron en los seis meses posteriores a la intervención. Una complicación se relaciona con el manejo del seno frontal y otra con el abordaje/patrón de fractura.

Las complicaciones analizadas son:

1. Fístula de líquido cefalorraquídeo (n=1, 1.66%)
2. Celulitis frontoorbitaria (n=1, 1.66%)

La obliteración del seno frontal había sido realizada con viruta ósea de calota en el caso de fístula de líquido cefalorraquídeo. La celulitis frontoorbitaria se desarrolló en un caso obliterado con viruta ósea + DBX.

La fístula de líquido cefalorraquídeo desarrollada en el postoperatorio inmediato se resolvió en 3 días tras instaurar medidas conservadoras incluyendo reposo absoluto y cabecero elevado con prevención de fenómenos de valsava. No fue preciso el empleo del drenaje lumbar.

La celulitis frontoorbitaria requirió inicialmente tratamiento médico i.v. con antibioterapia y antiinflamatorios y posteriormente precisó la retirada parcial del material de osteosíntesis empleado en la fijación de las fracturas de la pared anterior del seno frontal.

La evolución de ambos pacientes fue satisfactoria sin desarrollar complicaciones posteriores hasta el momento actual.

Complicaciones tardías

Se recogen 4 complicaciones tardías (6.66%) en los senos frontales intervenidos. Las 4 complicaciones se relacionaron con el manejo del seno frontal:

1. Mucocelo/Mucopiocele frontal (n=4, 6.6%)

Los mucocelos/mucopioceles se desarrollaron en 3 casos en senos obliterados con viruta ósea de calota y en 1 caso en un seno obliterado con viruta ósea de calota + DBX.

Todos los pacientes precisaron reintervención quirúrgica.

Los mucocelos/ mucopioceles fueron intervenidos de nuevo mediante abordaje subcraneal y tratamiento del seno frontal afectado (legrado, seguido de nueva obliteración)

Es importante destacar que los 4 senos frontales en los que desarrollaron mucocelos/mucopioceles durante el postoperatorio tardío corresponden a pacientes intervenidos en la fase inicial del estudio. Tras la reintervención la evolución fue adecuada en todos los casos presentando los pacientes un grado de satisfacción alto.

Tras el tratamiento de las complicaciones precoces y tardías todos los pacientes han presentado mejoría franca de su sintomatología. Hasta el momento actual no existe mortalidad postoperatoria. Podemos concluir que no existe diferencia estadísticamente significativa entre las complicaciones

sucedidas en el postoperatorio de pacientes con obliteración del seno frontal mediante viruta ósea de calota exclusivamente y pacientes obliterados mediante viruta ósea de calota asociada a DBX.

Independientemente del abordaje-técnica quirúrgica, dos pacientes precisaron reintervención quirúrgica por presentar problemas estéticos relacionados con irregularidades en la zona glabelar.

Dichas irregularidades, resultado de la conminución de los fragmentos de la pared anterior fracturados, precisaron sendas remodelaciones frontales con biomateriales.

6. DISCUSIÓN

6.A. Discusión del abordaje subcraneal.

La elección del abordaje a la base craneal anterior debe cumplir los siguientes criterios:

1. Permitir una amplia exposición de los defectos duros.
2. Permitir el tratamiento asociado de las lesiones intracraneales.
3. Mínima morbilidad quirúrgica.
4. Preservar cintillas olfatorias.
5. Empleo de los espacios aéreos faciales y movilización segura de los huesos craneofaciales como vía de abordaje a la base craneal.
6. Respeto máximo de los pedículos neurovasculares, cruciales en la vitalidad de los colgajos utilizados en la reconstrucción y en la viabilidad de los injertos óseos.
7. Planificación conjunta abordaje-reconstrucción para asegurar el aislamiento efectivo de las distintas cavidades implicadas, en especial del espacio subdural y la vía aerodigestiva superior.
8. Considerar futuras cirugías sobre el mismo campo.
9. Experiencia del equipo quirúrgico multidisciplinar.

La reconstrucción primaria es imperativa en estos procedimientos para asegurar la supervivencia, siendo el método reconstructivo ideal aquél que reduzca al máximo el número de complicaciones, no interfiriendo con las pruebas de imagen de control postquirúrgicas y proporcionando un resultado estético y funcional óptimo.

Tradicionalmente, el tratamiento de este tipo de traumatismos implica un abordaje intracraneal transfrontal. El tratamiento neuroquirúrgico urgente incluye una exploración intracraneal realizando craniectomías descompresivas, eliminación de fragmentos óseos craneales significativamente desplazados y drenaje de hematomas epi-subdurales. El procedimiento intracraneal para manejo de la región frontoorbitaria y la base craneal precisa retracción de los lóbulos frontales. La habitual contusión concomitante, el edema cerebral y la presión intracraneal elevada obligan a diferir casi constantemente el procedimiento reconstructivo craneal definitivo, así como las posibles fracturas asociadas del esqueleto facial. Esto puede diferir el tratamiento quirúrgico definitivo 2-3 semanas, con el consecuente incremento de la tasa de infecciones postoperatorias y la interposición de pólipos edematosos y tejido de granulación entre los fragmentos óseos fracturados. El abordaje subcraneal permite una precoz y

primaria corrección de la patología traumática compleja frontal incluyendo el tratamiento asociado de fracturas del esqueleto facial a pesar de la afectación de la base craneal y el neurocráneo, así como evitar cualquier corrección quirúrgica secundaria (Fliss et al 2000).

Las siguientes desventajas están relacionadas con los abordajes intracraneales:

1. Alta tasa de morbilidad, incluyendo anosmia, edema postoperatorio, estancia hospitalaria prolongada y riesgo elevado de infección aguda-crónica de SNC.
2. El retraso en el tratamiento reconstructivo definitivo (2-3 semanas) complica dicho procedimiento (formación de tejido de granulación, incremento en la tasa de infección postoperatoria, drenaje inadecuado de las cavidades sinusales) y empeora su resultado.

Estas desventajas dieron lugar al desarrollo de un nuevo abordaje que permitiera el manejo adecuado completo de la fosa craneal anterior como alternativa a los tradicionales abordajes intracraneales. El abordaje subcraneal representa un acceso extracraneal y fue descrito inicialmente por Joram Raveh en 1978 para el tratamiento de los traumatismos complejos de la base craneal anterior. La diferencia respecto a los procedimientos tradicionales no radica tanto en la localización anatómica de la craneotomía frontal y las osteotomías nasoorbitarias como en la diferente exposición y dirección del abordaje. Permite una amplia exposición inferior de todos los planos de la base craneal anterior (desde el techo etmoidal anterior hasta el clivus atravesando ambos techos orbitarios y el *planum esfenoideale*) así como de la porción media y superior de la cavidad nasal y el aspecto medial del seno maxilar. En lesiones con extensión caudal hacia la porción inferior de la cavidad nasal, suelo-*antrum* del seno maxilar y/o proceso alveolar maxilar-paladar se puede combinar con un abordaje tipo *degloving* mediofacial en el mismo procedimiento (Fliss et al 2000). Otras técnicas que pueden ser asociadas incluyen abordajes transfaciales como osteotomía tipo LeFort I y abordajes orbitocigomáticos-transorbitarios (Fliss et al 2007).

La osteotomía del segmento frontonasal puede ser extendida deliberadamente hacia la sutura frontocigomática dependiendo de cada caso. Favorece una correcta reparación extracraneal de las fracturas de la base craneal anterior, incluso con desgarros duros y herniación cerebral. Permite la reconstrucción de la base craneal tras la reparación de los desgarros duros con mínima retracción de los lóbulos frontales. Es un

procedimiento versátil y relativamente sencillo desde el punto de vista de la técnica quirúrgica.

Entre sus ventajas destaca:

1. En traumatismos con fracturas frontonasoorbitarias con afectación de la base craneal, fragmentos craneales desplazados, contusión frontal y/o edema cerebral, herniación de tejido cerebral, presión intracraneal elevada y/o fístula de LCR, la reparación intracraneal con los abordajes clásicos es sólo posible tras la resolución del edema cerebral concomitante que permita la retracción de los lóbulos frontales. Esto conlleva habitualmente un retraso en el procedimiento quirúrgico inicial de 2-3 semanas. Las desventajas de este retraso son un incremento en la tasa de infecciones postoperatorias, la interposición de tejido de granulación en los focos de fractura y el inadecuado drenaje de las cavidades sinusales. El abordaje subcraneal permite una reconstrucción craneofacial precoz (primeras 24-48 horas) de estos complejos traumatismos en un solo tiempo a pesar de la afectación del neurocráneo.
2. Disminución significativa de la morbilidad asociada evitando la retracción de los lóbulos frontales, el daño de los filamentos olfatorios y la reducción del edema cerebral y fístulas de LCR recurrentes postoperatorias, asociando una excelente exposición de la cavidad nasal, órbitas, etmoides y seno esfenoidal (fosa craneal anterior).
3. El tratamiento del pseudohipertelorismo (compresión centrípeta simétrica cantal para manejo del telecanto), la descompresión del nervio óptico (tras etmoidectomía radical) y la meticulosa reparación del tercio medio facial pueden ser realizadas en una sola intervención quirúrgica.
4. Sellado hermético de desgarros duros y manejo de la base craneal a través de los espacios paranasales. Permite un estricto aislamiento del SNC, con baja tasa de aparición de fístulas de LCR e infecciones epidurales, disminuyendo así el tiempo de hospitalización.
5. Procedimiento estéticamente muy aceptable, evitando incisiones faciales; la única incisión es la bicoronal, preferiblemente camuflada tras la línea capilar.

La mayor desventaja es la anosmia. En los traumatismos con fracturas conminutas extensas del área cribiforme, la lesión de los filamentos olfatorios es inevitable. Independientemente del abordaje, la exposición

completa superior de la base craneal anterior requiere la elevación de las cintillas olfatorias de la lámina cribiforme con la consiguiente pérdida de olfacción. La anosmia depriva al paciente de un sentido importante. Reduce la apreciación de la comida. Aunque la pérdida del olfato es con frecuencia necesaria para erradicar enfermedades que afectan a la base craneal anterior, las cintillas olfatorias contralaterales pueden ser preservadas en el tratamiento de patología selectiva unilateral (Dale y Mims 2000).

La frecuencia de anosmia postraumática depende de varios factores como la severidad del traumatismo y la presencia de desgarros duros con fistula de LCR. Las grandes series presentan una incidencia media tras traumatismos complejos del 7%. El conocimiento actual de los mecanismos de anosmia postraumática es mínimo y se basa en principios teóricos. Factores considerados importantes en la patogenia de la anosmia postraumática incluyen:

1. lesión de los filamentos olfatorios.
2. compresión o daño del bulbo olfatorio por edema o hematoma.
3. lesión del nervio olfatorio a lo largo de la base craneal anterior.
4. patrón de daño o lesión a nivel central.

En cerca del 90% de las personas, la vascularización del bulbo olfatorio se produce a través de la arteria cerebral anterior. Así, el bulbo es particularmente vulnerable a lesiones isquémicas o anóxicas tras daño vascular al complejo de la arteria cerebral anterior.

En casos de traumatismos con fracturas conminutas con afectación de la lámina cribosa, la lesión de los filamentos olfatorios es inevitable. Raveh (1993) evita la disección de los filamentos olfatorios y expone la superficie inferior de la cribosa resecando sólo el techo del etmoides. Disminuye así la incidencia de anosmia postoperatoria.

6.B. Discusión del tratamiento del seno frontal.

6.B.1. Aspectos generales.

Las siguientes indicaciones generales deben ser tenidas en cuenta en relación con el tratamiento quirúrgico del seno frontal (Ioannides et al 1993):

1. Evitar complicaciones inmediatas y a corto plazo como fistulas de líquido cefalorraquídeo e infecciones de sistema nervioso central.
2. Evitar complicaciones a largo plazo como osteomielitis frontal, sinusitis crónica, mucocoele, mucopiocele o absceso frontal.
3. Proveer una exposición adecuada que favorezca un manejo seguro de la patología de base.
4. Restaurar el contorno estético adecuado de la región frontal.
5. Obtener un aislamiento estricto del sistema nervioso central.
6. Preservar la olfacción.

Se ha postulado que el objetivo en el tratamiento de las fracturas del seno frontal es la creación de un “seno seguro” (Strong 2009) que minimice la morbilidad del paciente optimizando el tratamiento de las fracturas frontales. Las opciones generalmente incluyen mantenimiento de la función sinusal preservando la continuidad del drenaje frontonasal; obliteración sinusal con un amplio abanico de materiales a nuestra disposición y, en situaciones más complejas cranealización del seno frontal eliminando la pared posterior del mismo tras obliteración del drenaje frontonasal (Frodel 2008).

La dificultad en el diagnóstico radiográfico y la alta incidencia de complicaciones tardías en relación con las fracturas complejas del seno frontal obligan en muchas ocasiones a la exploración quirúrgica de las mismas.

Los puntos principales en el tratamiento de las fracturas del seno frontal incluyen la creación de un espacio muerto potencial, la posible continua contaminación del espacio intracraneal desde la cavidad nasal-celdas etmoidales y la natural tendencia de la mucosa del seno frontal para proliferar de forma patológica y anormal tras haber sido agredida por un traumatismo, formando mucocoeles o mucopioceles. Es precisamente la prevención de las posibles complicaciones devastadoras relacionadas con este área la que nos obliga a la realización de técnicas más agresivas en

relación al manejo de la patología del seno frontal, intentando la resolución del trauma sinusal en un solo acto quirúrgico (Raveh et al 1984).

El tratamiento de las fracturas del seno frontal no es prioritario en el manejo inicial del paciente politraumatizado. Como es sabido, la estabilización de la vía aérea, el control de la respiración y de las posibles hemorragias que asegure un volumen circulatorio adecuado son las medidas iniciales a tomar. Sin embargo, la fracturas del seno frontal rápidamente asumen un papel primordial en el algoritmo de manejo del trauma craneofacial dadas las graves complicaciones derivadas de su tratamiento diferido o inadecuado (Kalavrezos 2004)

El tratamiento de emergencia debe ser reservado para pacientes con lesiones neuroquirúrgicas que requieran descompresión quirúrgica o fracturas abiertas tipo “*through and through*”. Podrían considerarse indicaciones urgentes adicionales las hemorragias severas desde nasofaringe, afectación masiva de partes blandas, lesión de pares craneales y compresión de nervio óptico. Sin embargo, es recomendable en la mayoría de casos la intervención quirúrgica dentro de las primeras 12-48 horas tras el accidente si es compatible con la condición clínica y el edema cerebral (Fliss et al 2000). La monitorización de la presión intracraneal es una guía importante. El tratamiento precoz reduce la incidencia de complicaciones a largo plazo (Lee et al 1998). Debe ser preciso ya que la presencia de fragmentos óseos inapropiadamente reducidos, secuestros tras fracturas conminutas, cuerpos extraños o fragmentos de mucosa desvitalizados exponen al paciente a un gran riesgo de meningitis, mucopioceles y otras complicaciones (Rohrich et al 1995). El tratamiento diferido se reserva para aquellos pacientes inestables desde el punto de vista multiorgánico, especialmente aquellos con función neurológica deprimida (Lee et al 1998).

En general, el algoritmo de manejo de las fracturas del seno frontal se basa en el grado de desplazamiento de las mismas, en la afectación del conducto nasofrontal y en la presencia de fístula de LCR:

1. Fracturas no desplazadas precisan tratamiento conservador.
2. Fracturas desplazadas de la pared anterior con defecto estético asociado precisan reducción y osteosíntesis de la misma. (tipo de fractura más frecuente) (Heredero et al 2007)
3. Fracturas con afectación del conducto nasofrontal precisan obliteración sinusal.
4. Las fracturas desplazadas de la pared posterior tradicionalmente eran tratadas mediante cranealización del seno (Stanley 1989).

Pacientes con fracturas desplazadas con afectación de la pared anterior, definidas como desplazamiento óseo mayor o igual que la anchura de la tabla externa, son tratadas quirúrgicamente dependiendo del status del ducto nasofrontal, la pared posterior y el estado neurológico del paciente. Pacientes con fracturas desplazadas aisladas de la pared anterior sin afectación del ducto nasofrontal o lesión cerebral significativa son tratadas con reducción abierta y osteosíntesis de la pared anterior exclusivamente, con preservación de la membrana sinusal (Gerbino et al 2000).

Fracturas desplazadas con afectación de la pared anterior combinadas con obstrucción del ducto nasofrontal son tratadas con exéresis completa de la membrana sinusal, fresado de las paredes, obliteración sinusal y reconstrucción de la pared anterior. Pacientes con fracturas del seno frontal no desplazadas asociando fracturas nasoorbitoetmoidales desplazadas con obstrucción del ducto nasofrontal son generalmente tratadas mediante osteosíntesis del complejo NOE (Fig. 20). Tras dicho tratamiento si la viabilidad del ducto nasofrontal no está asegurada, se procede a la obliteración del mismo.

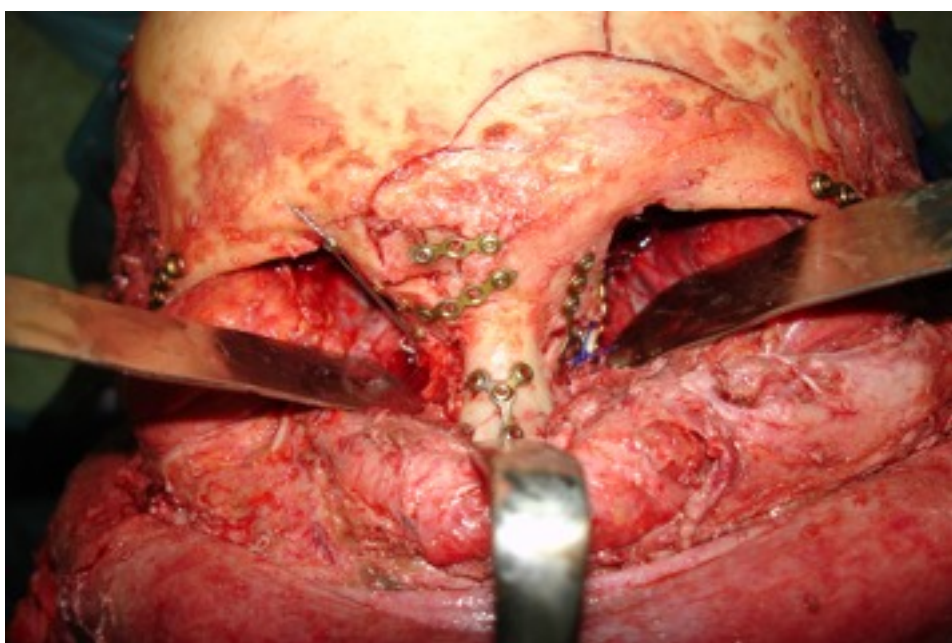


Fig. 20. Tratamiento de fractura NEO asociada a fractura frontal sin desplazar.

La cranealización implica la eliminación completa de la pared posterior del seno tras obturación del ducto nasofrontal. Permite el manejo de laceraciones durales locales. El espacio adicional intracraneal que aporta

permite la expansión-descompresión del tejido cerebral edematizado, disminuyendo así la presión intracraneal. Habitualmente se asocia con el tallado de un colgajo de galea-pericráneo que aisle el espacio intracraneal de las vías aerodigestivas superiores. Con este procedimiento se pretende la expansión del lóbulo frontal y relleno del espacio ocupado previamente por el seno frontal. Debe ser el tratamiento de elección cuando se realiza una craneotomía con fines neuroquirúrgicos combinada con la necesidad de obliteración sinusal (Donald y Bernstein 1978). En nuestra opinión, así como la de otros autores (Wolfe y Johnson 1988, Yavuzer et al 2005), excepto en la indicación descrita previamente, es una técnica que aumenta francamente la morbilidad postoperatoria, y por tanto, en la actualidad, su empleo es más limitado.

Es imprescindible la separación del espacio intra-extracraneal y la obliteración del espacio muerto intracraneal con el objetivo de disminuir complicaciones infecciosas asociadas a dicho espacio. La cranealización del seno frontal genera un espacio muerto residual no siempre ocupado completamente con la expansión de los lóbulos frontales.

En el momento actual, si es posible, se realiza osteosíntesis de la pared posterior y posterior obliteración de la cavidad sinusal (Yavuzer et al 2005, Heredero et al 2007) (Fig. 21).

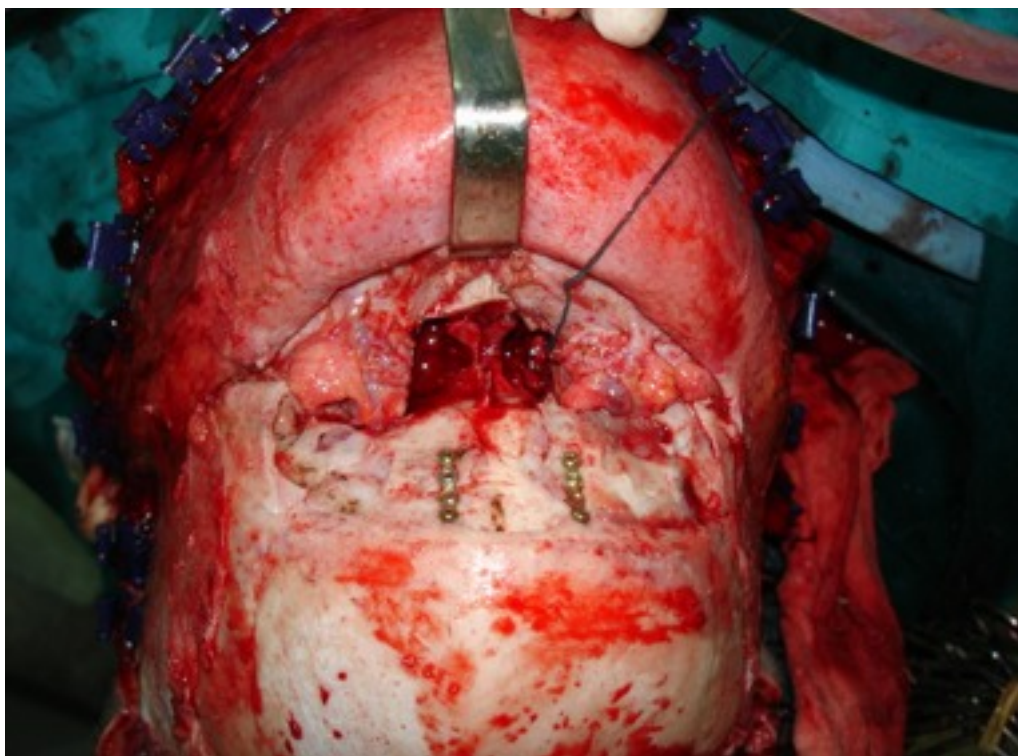


Fig. 21. Osteosíntesis con miniplacas de la pared posterior sinusal.

En la mayoría de los pacientes con fracturas de la pared posterior, la inspección y reparación dural, el drenaje de hematomas locales y el desbridamiento cerebral frontal puede ser realizado a través de un abordaje subcraneal eliminando transitoriamente la pared posterior. Tras el manejo neuroquirúrgico, en el momento actual se tiende si es posible a la realización de osteosíntesis en la pared posterior para mantener así la cavidad sinusal. Posteriormente el seno implicado es obliterado tras obturación del ducto nasofrontal. Si existen defectos óseos postraumáticos en la pared anterior, los injertos óseos de calota (Fig. 22) o las mallas de titanio son adecuadas alternativas para la reconstrucción de dicha área (Haug y Likavec 1994).



Fig. 22. Diseño de injerto de calota parietal.

La realización de craneotomías clásicas queda relegada a aquellos pacientes con senos frontales muy pequeños con lesiones frontales complejas y a aquellos con lesiones cerebrales extensas que precisen una craniectomía descompresiva.

Si la patología traumática afecta a un sólo seno frontal y el septum intersinusal no se encuentra afectado no existe indicación para la eliminación de dicho septum. Requerirá tratamiento quirúrgico sólo el seno frontal afectado siempre y cuando el septum esté intacto (Gonty et al 1999).

Cuando se evalúan las fracturas del seno frontal es importante diagnosticar la afectación de la base craneal anterior asociada. Tras abordar el seno frontal se procede al tratamiento del proceso patológico implicado. Si existen fragmentos óseos conminutos en la pared posterior son extraídos tras meticolosa disección de la duramadre para permitir la retracción de la porción anteroinferior de los lóbulos frontales y delimitar la extensión de la lesión a lo largo de la lámina cribiforme y los techos orbitarios.

La afectación del techo orbitario es común y generalmente fácil de identificar en las pruebas de imagen preoperatorios. Es preciso determinar afectación de la lámina cribiforme, lateral a la crista galli y más posteriormente hacia el *planum esfenoideale*. Estas últimas fracturas generalmente implican un impacto significativo y mayor importancia del traumatismo. Aunque la reparación abierta directa de los componentes de la base craneal anterior no siempre es necesaria, es importante descartar en la evaluación la presencia de fístula de líquido cefalorraquídeo y neumoencéfalo asociado (Frodel 2008).

6.B.2. Incisiones y osteotomías de acceso al seno frontal.

El abordaje supraciliar o translesional a través de heridas faciales se emplea en aquellos pacientes con fracturas poco desplazadas de la pared anterior del seno frontal (Gerbino et al 2000). Por otra parte, el abordaje coronal ofrece una mejor visión y mayor control de la región a tratar, permitiendo de la misma forma la toma de injertos óseos autólogos en el mismo campo quirúrgico. Es el abordaje de elección empleado en la inmensa mayoría de casos permitiendo el manejo de fracturas desplazadas y/o conminutas del seno frontal y la reposición ósea mediante injertos si fuese necesario. Se debe preservar el pericráneo, ya que puede ser útil para sellar la base craneal anterior (Piotrowski 1992).

La incisión bicoronal clásica es modificada en el momento actual realizándola en zig-zag, iniciando la misma próxima a la raíz del hélix y con dirección posterior, asegurando la preservación de los vasos temporales superficiales, útiles no sólo como pedículo nutriente de colgajos locales empleados en la reconstrucción craneal sino también como vasos receptores si fuera necesario emplear técnicas microquirúrgicas reconstructivas. La incisión se realiza 4-6 cms tras la línea del pelo. Si el paciente tiene poco pelo, el patrón en zigzag sólo aumenta y acentúa la

incisión, siendo en este supuesto realizada la incisión lineal tradicional. En pacientes calvos, la incisión debe ser realizada más posterior para camuflarla en la medida de lo posible tras la línea de pelo. Esta modificación necesitará más disección lateral para permitir la rotación anterior del scalp. Durante el cierre del abordaje coronal es importante la pexia de las partes blandas en la región temporal para evitar a largo plazo la ptosis frontal y del tercio medio superior facial.

Los conceptos y principios actuales se basan en la intervención quirúrgica precoz buscando obtener resultados estéticos y funcionales estables. En el momento actual, las técnicas de imagen tipo TAC craneofacial permiten la evaluación de la forma y tamaño sinusal facilitando así la posterior osteotomía cuadrangular de acceso en la pared anterior del seno frontal.

Según la patología de base a tratar, la osteotomía de acceso a la base craneal anterior puede incluir conjuntamente pared anterior y posterior de seno frontal asociando la estructura ósea nasal, pared medial orbitaria y/o un segmento posterosuperior del septum nasal, incluso la porción medial de los techos orbitarios (Fliss et al 2000).

En ocasiones la osteotomía de abordaje al seno frontal es modificada siguiendo el patrón de fractura de la pared anterior del seno frontal (Fig 23).

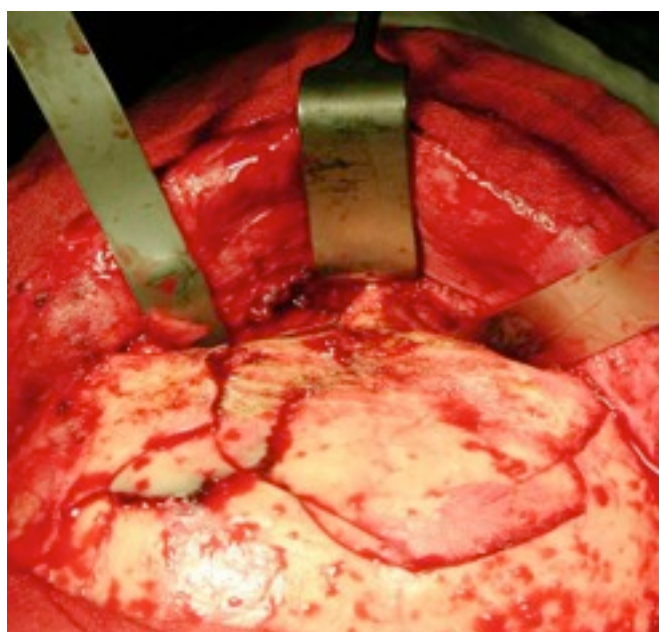


Fig. 23. El diseño del abordaje al seno frontal se modifica según el patrón de fractura.

La extracción de fragmentos óseos fracturados de la pared anterior permite el acceso al seno. Dichos fragmentos son conservados en suero salino para su posterior reposición anatómica tras el tratamiento adecuado del seno frontal. Es imprescindible una planificación adecuada del colgajo óseo teniendo en cuenta las fracturas existentes, siendo el objetivo final una exposición y manejo preciso de la patología traumática frontal. Los fragmentos óseos conminutos de la pared posterior son extraídos tras meticulosa disección de la duramadre para permitir la retracción de la porción anteroinferior de los lóbulos frontales y delimitar la extensión de la lesión a lo largo de la placa cribiforme y los techos orbitarios. El colgajo óseo puede incluir los huesos propios nasales. La osteotomía nasofrontal puede ser realizada hasta justo por encima de las inserciones del ligamento cantal medial (Burstein et al 1997) En estos casos es precisa la fijación de los ligamentos cantales mediante sutura no reabsorbible en la pared anterior del seno frontal contralateral pasando tras el segmento nasofrontal (cantopexia transnasal). Se obtiene así una correcta posición de los cantos mediales en los planos vertical, horizontal y sagital. Algunos autores preservan 3-5mm distales de los huesos propios nasales intactos para mantener la funcionalidad de las válvulas nasales internas. El tamaño del colgajo óseo y la cantidad de rebordes orbitarios a incluir en el colgajo es determinada por la cantidad de FCA que necesitamos exponer.

En ausencia de traumatismos agudos, es preciso realizar la osteotomía de abordaje al seno frontal.

Como el tamaño del colgajo óseo es conocido antes de realizar la osteotomía completa, es posible en este momento la preinserción de la miniplacas que fijarán la osteotomía en su posición definitiva (Schmitz et al 1994). Dichas miniplacas son retiradas parcialmente (se liberan los tornillos que la fijan al colgajo óseo y se rotan), se completa la osteotomía de la pared anterior y se aborda el seno. La osteotomía es realizada con sierra sagital con una angulación aproximada de 30°. Dicha sierra permite crear la osteotomía superior del colgajo de forma biselada como medida de seguridad para evitar penetrar en el sistema nervioso central a través de la fosa craneal anterior. Un osteotomo tras la glabella permite la separación del colgajo de la *crista galli*, evitando penetrar la dura frontal. La precisa colocación final del colgajo óseo asegura una adecuada reconstrucción frontal. El colgajo óseo es preservado en suero salino hasta su reposición final. La osificación primaria sucede si la osteotomía es suficientemente estrecha y el colgajo óseo es recolocado y fijado de forma estable mediante osteosíntesis.

La osteosíntesis se realiza con micro-miniplacas de titanio de 1.0, 1.3 ó 1.5 mm. Es interesante emplear la cantidad mínima de titanio necesario para cumplir de forma correcta su función, disminuyendo así las posibles complicaciones. De forma ideal se debería evitar la colocación de placas en lugares de difícil acceso por si fuera necesaria su eventual retirada.

Para la obtención de los objetivos primarios también es preciso que aquellos huesos faciales osteotomizados sean reposicionados cuidadosamente en su localización anatómica; generalmente resulta útil preformar las placas de osteosíntesis antes de completar las osteotomías.

El empleo de placas y tornillos de material reabsorbible es una opción válida en pacientes que no presenten fracturas conminutas frontales. Evitan además posibles interferencias en las pruebas de imagen de control postoperatorio, aunque hoy en día la calidad del titanio empleado evita también las alteraciones a la hora de la interpretación de las pruebas de imagen de control postoperatorias.

6.B.3. Manejo del ducto nasofrontal.

La afectación del conducto nasofrontal es una de las causas más comunes de complicaciones intracraneales. Es necesaria la confirmación de la permeabilidad del conducto nasofrontal. La inyección de azul de metileno o fluoresceína a través de un catéter colocado en el ducto nasofrontal y su objetivación bajo el meato medio confirman la viabilidad del mismo (Haug y Likavec 1994). Habitualmente no es posible su estricta evaluación sin su abordaje quirúrgico. La obturación del conducto se realiza en caso de afectación del mismo.

Los intentos de restablecimiento quirúrgico de su función tras su afectación tienen una tasa de fracaso elevada próxima al 30% debido a la consiguiente retracción cicatricial y estenosis (Baron et al 1973). En cualquier caso, algunos autores (Bell et al 2007), cuando la pared posterior del seno frontal está intacta prefieren restablecer inicialmente la permeabilidad del conducto nasofrontal y preservar la función sinusal (Gerbino et al 2000). Se procede a la colocación de un tubo de drenaje de adecuado calibre recreando el ducto. Se mantiene en dicha posición durante un periodo de tiempo variable (desde 1 semana hasta 6 meses) para prevenir la retracción mucosa y la oclusión ductal durante el proceso de cicatrización (Haug y

Likavec 1994)). Aunque el tratamiento en cada paciente debe ser individualizado, algunos autores opinan que la función del seno frontal y su anatomía pueden ser preservadas en la mayoría de casos. Tras analizar sus resultados sugieren que la función sinusal puede ser preservada en la mayoría de los pacientes con fracturas del seno frontal, teniendo en cuenta el grado de desplazamiento, el status del ducto nasofrontal, la conminución de la pared posterior y la presencia de afectación neurológica significativa o de afectación dural.

Sin embargo, la mayoría de autores creen que el elemento clave en el tratamiento con éxito de los pacientes con fracturas de seno frontal es el conocimiento-funcionamiento del drenaje del seno frontal (Wilson et al 1988). La posición posteromedial del ducto lo hace particularmente susceptible a la lesión, siendo afectado en más de un tercio de los pacientes con traumatismos del seno frontal. Existe evidencia clínica y experimental que sugiere que la obstrucción del ducto es un factor predisponente significativo en el desarrollo de complicaciones infecciosas tipo mucocel-mucopiocele prácticamente de por vida. Así, se recomienda que las fracturas que provocan afectación del ducto nasofrontal como para provocar una obstrucción del mismo deben ser tratadas con el objetivo de crear un seno frontal seguro (*“safe sinus”*, Stanley 1989) con exéresis completa de la mucosa y obliteración del mismo.

El conducto nasofrontal es obturado con diversos materiales previa eliminación de la mucosa del mismo. El abordaje coronal realizado para el manejo de dichas patologías favorece la obtención de hueso autólogo como material adecuado para la obturación del conducto. En los traumatismos craneofaciales con fracturas conminutas del tercio superior facial es posible el empleo de fragmentos óseos de mínimo tamaño para la obturación del conducto. Sino es posible el empleo de dichos fragmentos, se talla un injerto óseo de cortical externa de calota craneal para obturar el ducto.

Otros autores utilizan fascia, músculo o grasa con resultados satisfactorios. Con independencia del método usado, la obliteración del ducto sella la cavidad sinusal, previene el ascenso de procesos infecciosos desde las vías aerodigestivas superiores y previene el nuevo crecimiento de mucosa desde el conducto con el potencial riesgo de formación de mucocelos.

6.B.4. Obliteración del seno frontal.

Los principios básicos en torno a la obliteración del seno frontal se han desarrollado durante los últimos 50 años. Dicho procedimiento se ha convertido en uno de los puntos clave en el tratamiento de fracturas, infecciones crónicas y procesos oncológicos benignos del seno frontal. Disminuye el riesgo de aparición de complicaciones infecciosas (mucocelos, mucopioceles, osteomielitis, meningitis y abscesos cerebrales) dada la potencial degeneración quística de la mucosa sinusal afectada.

Independientemente del proceso patológico implicado, el abordaje quirúrgico al seno frontal debe favorecer una exposición y manejo adecuado del mismo. Una vez que la cavidad sinusal ha sido abordada y el proceso patológico tratado, la mucosa del seno frontal es meticulosamente eliminada de las paredes sinusales (Kalavrezos 2004), procediendo posteriormente al fresado de dichas paredes. De esta forma, conseguimos eliminar las invaginaciones óseas de la mucosa sinusal disminuyendo las complicaciones postoperatorias. El fresado de las paredes óseas incrementa también el aporte vascular útil para el material de relleno empleado en la obturación del seno frontal.

Las bases anatómicas para la eliminación de la cortical ósea interna mediante fresado fueron descritas por Mosher y Judd (1933). Describen pequeñas depresiones en la cortical interna que permiten el paso a las venas diploicas de Breschet. Estas venas conectan la mucosa con las venas durales. Insiste así en la necesidad de eliminación de dichas depresiones como sitios potenciales de retención mucosa.

Hilding (1933), en sus trabajos sobre seno frontal en perros, muestra que la incompleta eliminación de la membrana mucosa implica una obliteración sinusal incompleta con mantenimiento de una cavidad aérea y formación posterior de quistes mucosos. Sugiere que las islas mucosas traumatizadas retenidas presentan un crecimiento anormal con tendencia a la formación de quistes mucosos que pueden originar mucocelos. Otros autores como Montgomery (1963) defienden incluso el uso del microscopio intraperatorio como ayuda para una meticulosa exéresis de la mucosa sinusal.

La obliteración correcta previene la reepitelización del seno frontal. Ya en 1949 Woods subraya que el éxito en la obliteración del seno frontal

depende de la completa y permanente obstrucción del conducto nasofrontal así como de la meticulosa eliminación de la mucosa sinusal.

Se establecen los principios básicos para la obtención de una obliteración sinusal con éxito (Rohrich y Mickel 1995):

1. Meticulosa exéresis de toda la mucosa sinusal frontal.
2. Eliminación de la cortical interna de las paredes sinusales
3. Oclusión permanente del conducto nasofrontal.

A los principios básicos descritos se une el empleo de diversos materiales de relleno para completar la obliteración sinusal frontal.

La obliteración del seno frontal se define como la ocupación de la cavidad aérea sinusal frontal manteniendo intactas las paredes óseas. Se emplea en el manejo de patología traumática, infecciosa, oncológica o en el tratamiento de sus secuelas. Su objetivo es la eliminación sinusal como unidad funcional, evitando la regeneración epitelial sinusal. Surge como una alternativa a operaciones descritas previamente más radicales como la exenteración del seno frontal (procedimiento de Reidel, que incluye la eliminación de la pared anterior del seno y los rebordes supraorbitarios), o la ablación del seno frontal (procedimiento de Killian, conservando el reborde supraorbitario). Ambos procedimientos daban lugar a una alta tasa de recurrencias así como a una como una deformidad estética frontal intolerable.

6.B.4.1. Defecto crítico

Podemos denominar una cavidad ósea como aquel defecto óseo que presenta alguna pared que lo limita.

Un objetivo esencial es el mantenimiento de las paredes óseas que forman el seno frontal. Al mantener las paredes óseas del seno frontal se consiguen una serie de ventajas (actúa como procedimiento de regeneración ósea guiada):

1. Prevenir el colapso del espacio donde se va a producir la regeneración.
2. Mantener un coágulo sanguíneo que permita la migración de las células osteogénicas.
3. Proteger la aparición de una delicada red de neovasos en su interior.

4. Excluir de la zona a células no osteocompetentes que intentarían crear una cicatriz fibrosa en la zona.

La cavidad ósea resultante tras el tratamiento de la patología de base del seno frontal cicatrizará primariamente de forma inversa a su tamaño. Se conoce como defecto de tamaño crítico aquel tamaño a partir del cual no se puede producir una curación espontánea. Descritos por Schmitz (1986) y Hollinger (1990), convencionalmente se estableció que si no existía regeneración ósea completa en las primeras 52 semanas, se podía afirmar que esta nunca se produciría. Los defectos que sí poseen capacidad de regeneración espontánea se denominan de tamaño no crítico, siempre que aportemos las condiciones adecuadas: estabilización del coágulo (micromovimientos en el coágulo superiores a 10-20 micras dirigen las células mesenquimales hacia fibroblastos y no hacia osteoblastos), mantenimiento del espacio (de forma que permita la invasión célulo-vascular y la proliferación) y reposo mecánico (concepto de regeneración ósea guiada). Tradicionalmente se ha considerado que el relleno de cavidades óseas no era estrictamente necesario en pequeños defectos postquirúrgicos, en los que un cierre adecuado del colgajo permitiría una curación ósea natural. El adecuado diseño y manejo del colgajo que conlleve el consiguiente cierre primario de las partes blandas, influye decisivamente en la predicción de la osificación primaria de la cavidad. Sin embargo, hoy en día existe una tendencia creciente a rellenar las cavidades, incluso las de pequeño tamaño, con la intención de acelerar o hacer más predecible la regeneración ósea, y proveer de un hueso de calidad más apropiada.

6.B.4.2. Materiales de relleno

Una de las controversias en torno al manejo del seno frontal se ha centrado tradicionalmente en el material empleado para el relleno de la cavidad sinusal tras el tratamiento de la patología de base.

Existen en la literatura estudios experimentales y clínicos defendiendo el uso de un material determinado como relleno de la cavidad. Sin embargo, la mayoría de estos estudios son realizados sobre senos frontales sin patología asociada (modelos animales).

Existen varios procedimientos básicos con distintos materiales para la obliteración del seno frontal. Los otorrinolaringólogos defendían el empleo de grasa autógena basados en los trabajos de Goodale y Montgomery, Bergara e Itoiz y otros. La implantación de músculo es defendida por los neurocirujanos (Mcneil 1967). Por último, cirujanos maxilofaciales y cirujanos plásticos prefieren el relleno con hueso autólogo. Por otra parte, la osteoneogénesis espontánea fue también defendida por otorrinolaringólogos y cirujanos plásticos (descrita por Samoilenko en 1913). Éste método fue revisado por MacBeth (1954) en los años 50 mientras que Bosley (1972) presentó evidencias radiográficas con obliterations sinusales con hueso nuevo en 93 de los 100 pacientes tratados con este método. Finalmente, algunos autores optan por el empleo de materiales aloplásticos como relleno.

Las bases experimentales de la obliteración sinusal mediante osteoneogénesis fueron establecidas por los estudios de Samoilenko (1935), Hilding (1933) y Walsh (1943). Posteriormente, Hilding y Banovetz (1963), basado en estudios previos, establecieron que el seno frontal canino denudado inicialmente se obliteraba con tejido fibroso para posteriormente ser sustituido por hueso en grados variables. Bergara (1947) aporta su experiencia clínica tras presentar un paciente reoperado tras la eliminación completa de la mucosa sinusal frontal en el que encuentra el seno frontal prácticamente obliterado por tejido fibroso.

Gibson y Walter (1952) popularizan la técnica de obliteración frontal sinusal mediante osteoneogénesis en el Reino Unido. Macbeth (1954) presentó evidencia radiográfica con neoformación ósea en el seno frontal obliterado. La técnica de Macbeth incluía exéresis meticulosa de la mucosa y fresado de la cortical interna. Posteriormente realizaba una etmoidectomía transfrontal. No implantaba materiales autógenos, no ocluía el ducto nasofrontal ni utilizaba el microscopio.

Bosley (1972) revisa 100 pacientes consecutivos operados por Macbeth con seguimiento desde los 5 meses a los 13 años y encontró evidencia radiográfica de obliteración sinusal incompleta en el 7% de los pacientes y un 3% presentó mucocelos. Estudios en animales posteriores (Schenck 1975, Abramson 1977) mostraron que la obliteración sinusal por osteoneogénesis puede ser conseguida más consistentemente con la obturación asociada del ducto nasofrontal con hueso.

Se basa en la ausencia de empleo de materiales de relleno en la cavidad sinusal y la obliteración espontánea con la formación de hueso nuevo y tejido fibroso. La decorticación de la tabla interna estimula la formación de coágulos, paso previo a la formación ósea. Dicha decorticación mejora el

flujo sanguíneo en la cavidad sinusal, importante para la revascularización de posibles materiales de relleno empleados para la obturación sinusal. Con esta técnica se evita la morbilidad de la zona donante para obtener el material de relleno. Sin embargo, no conocemos cuánto tiempo tardará en provocarse la neoformación ósea, teniendo en cuenta que algunos senos frontales alcanzan tamaños considerables. Es un procedimiento poco predecible ya que la ocupación sinusal por tejido fibroóseo es muy variable dependiendo de las series. Schenck (1975), Newman y Travis (1973) observaron incompleta obliteración ósea del seno frontal y relleno parcial con tejido fibroóseo.

El empleo de grasa autógena abdominal fue introducido por Bergara e Itoiz (1955) en Argentina y posteriormente popularizada en Estados Unidos por Goodale y Montgomery (1958). Defienden que la vascularización alcanzada en la grasa es mayor que la obtenida en el tejido fibroso que se forma inicialmente tras la osteoneogénesis espontánea, siendo así más resistente a las infecciones postoperatorias. También encuentran que la grasa que no llega a ser vascularizada es eventualmente sustituida por tejido fibroóseo. Se presentan en los diversos estudios tasas variables de reabsorción de la grasa implantada, desde el 0% hasta el 40-50% (Peer 1950, Bordley y Bosley, 1973) Tradicionalmente ha sido considerado este procedimiento como el *gold standard* en la obliteración frontal.

Montgomery y Pierce (1963), sin embargo, obtienen resultados satisfactorios (supervivencia cercana al 100% del injerto graso) con esta técnica en senos frontales de gatos debido a los siguientes factores:

1. Tras la preparación de la cavidad sinusal se obtiene el injerto graso mediante técnica atraumática, el cual es colocado inmediatamente en la cavidad sinusal evitando así la deshidratación y aumentando la supervivencia.
2. El fresado de las corticales internas sinusales provee un lecho vascularizado para la grasa.(promueven la idea de la meticulosa exéresis de la mucosa sinusal previa al fresado incluso con la inestimable ayuda del microscopio quirúrgico)
3. El seno frontal empleado en animales de experimentación es más pequeño que en el ser humano de manera que la vascularización de los injertos es indudablemente más completa que en los últimos.

Presenta una tasa global de complicaciones del 18%, incluyendo un 5.2% de incidencia de complicaciones relacionadas con la herida abdominal, 3%

con infección postoperatoria con necrosis parcial de la grasa implantada y un 3% de sinusitis crónica. La tasa de complicaciones relacionadas con el seno frontal es comparable a la producida en la osteoneogénesis espontánea. Series posteriores enfatizan la importancia de la significativa influencia de las complicaciones en la zona donante en la morbilidad postoperatoria.

Sessions et al (1972) presentan 53 pacientes operados mediante la técnica combinada de colgajo osteoplástico-obliteración grasa en múltiples indicaciones. Desafortunadamente menos de la mitad fueron seguidos durante más de 1 año. 3.7% presentaron infección sinusal postoperatoria requiriendo reintervención.

Weber et al (2000) demuestran que la cantidad de grasa colocada en el seno frontal disminuye significativamente con el tiempo; además, en un 9.8% de los casos (82 pacientes) se desarrollo un mucocoele. En su estudio, imágenes de RNM realizadas 2 años después del procedimiento inicial demostraron cantidades de grasa menores del 20% de la cantidad inicial en la mitad de los pacientes.

Owens y Klotch (1993) mostraron en el modelo animal que cuando la grasa fue empleada para la obliteración sinusal y para la obturación del ducto nasofrontal, la reducción del volumen de grasa y su sustitución por tejido fibroso se apreciaba a los 3 meses. La atrofia grasa permitía el crecimiento de nuevo de la mucosa sinusal, especialmente en el ducto nasofrontal, incrementando la incidencia de mucocoeles.

Es quizá la mayor desventaja, la reabsorción de la grasa a largo plazo. Por otra parte se incrementa el tiempo quirúrgico, se precisa una zona donante no situada en el campo quirúrgico, con su morbilidad asociada, así como el fracaso en la integración grasa en los tejidos óseos que le rodean.

Se cuestiona esta técnica en aquellos casos en los que existen defectos óseos en las paredes sinusales (necesidad de injertos óseos para la reconstrucción) o cuando éstas han sido devascularizadas por la conminución postraumática. Precisa la obliteración grasa para su eficacia unas paredes sinusales relativamente intactas que le aporten vascularización suficiente.

Por otra parte, la evaluación radiológica de los injertos adiposos utilizados para la obliteración del seno frontal hace realmente complejo distinguir entre atrofia grasa, infección y formación de mucocoeles.

Como alternativa a la obliteración adiposa del seno frontal, en situaciones donde ha habido pérdida o conminución de las paredes sinusales, Donald (1982) plantea la cranealización sinusal eliminando la pared posterior del mismo. Sin embargo, la cranealización requiere con frecuencia una craniectomía asociada, con sus potenciales complicaciones, para una eliminación segura de la pared posterior. Si la pared posterior no es completamente eliminada, el cerebro no sufrirá una expansión suficiente para obliterar el seno, dejando un espacio muerto entre la pared anterior remanente y la dura incrementando la posibilidad de formación de mucocelos, abscesos epidurales o neumoencéfalo.

Los senos frontales son en este caso frecuentemente ocupados parcialmente por sangre, pudiendo posteriormente sobreinfectarse y ocasionar las complicaciones antes mencionadas. De ahí que la fosa nasal y los senos paranasales representen los principales focos de infección postoperatoria siempre y cuando no sean tratados de forma adecuada. Adicionalmente, en situaciones con infección crónica o cicatrización dural, ésta sufre un proceso de engrosamiento y ausencia de elasticidad, impidiendo la expansión cerebral para rellenar la cavidad, provocando una incompleta cranealización y una potencial fuente de complicaciones asociadas con el espacio muerto epidural.

La obliteración del seno frontal puede ser realizada con músculo autógeno y se describe como método adecuado especialmente en la literatura neuroquirúrgica. Sataloff et al(1984) describen el manejo del seno frontal que ha sido inesperadamente abordado tras realizar craneotomías mediante la exéresis mucosa y obliteración con músculo. Nadell y Kline (1974) describen el uso del músculo para obliterar el seno frontal en casos de trauma craneal con fracturas que afectan el seno frontal. No presentan complicaciones específicas relativas al material empleado en la obliteración aunque el seguimiento realizado es a corto plazo. En estudios experimentales en gatos, McNeil (1967) comenta que el músculo es igual de efectivo que la grasa como material para la obliteración. Sin embargo, encuentra que mientras que la grasa a menudo permanece viable, el músculo implantado es rápidamente sustituido por tejido fibroso. La obliteración completa del seno frontal por tejido fibroso es la regla en este estudio.

La patología sinusal infecciosa frontal recurrente tras obliteración con determinados materiales como la grasa y el músculo es el resultado de una serie de eventos que comienzan con la reabsorción de dichos materiales creando un espacio muerto en la cavidad sinusal. Ésto asociado a la incompleta exéresis de la mucosa sinusal y obturación inadecuada del

ducto nasofrontal favorecen la colonización bacteriana y la recurrencia de la patología sinusal (Altman et al 2007).

El colgajo de galea-pericráneo (Fig. 24) ha sido ampliamente utilizado como material para obliterar el seno frontal, obturar el ducto nasofrontal y sellar la base craneal anterior.



Fig. 24. Tallado de colgajo de galea-pericráneo.

El empleo de colgajos locales ha quedado en nuestra experiencia frecuentemente condicionado no sólo por la extensión de la patología a tratar sino por los procedimientos quirúrgicos previos si existieran. En este sentido es de enorme importancia la planificación quirúrgica inicial detallada (incisiones, viabilidad de colgajos, opciones reconstructivas).

La sistematización en el uso del colgajo de galea-pericráneo ha disminuido de forma significativa la incidencia de complicaciones postoperatorias tras el tratamiento quirúrgico de fracturas y tumores que comprometen el conducto nasofrontal aportando una interfase vascularizada entre la fosa craneal anterior y las vías aerodigestivas superiores.

Se emplea habitualmente en la reconstrucción de la fosa craneal anterior (aislamiento de SNC), obliteración del seno frontal o recubrimiento de injertos empleados en la reconstrucción de la base craneal anterior/ órbita (Thaller y Donald 1994)

Es importante a la hora de elegir el método reconstructivo considerar los tejidos disponibles, el volumen de espacio muerto extradural predecible, el estado de la duramadre, la extensión de la comunicación con la vía aerodigestiva superior y el pronóstico del paciente.

Es empleado así en la obliteración del seno frontal (Jackson et al 1986). El pericráneo está compuesto por el periostio y el tejido areolar laxo suprayacente. La galea o epicráneo se continúa anteriormente con el músculo frontal, lateralmente con la fascia parietotemporal y posteriormente con el músculo occipital. Posee una abundante red vascular que procede en la región frontal de vasos perforantes desde el pedículo supratroclear, como pedículo principal, y desde vasos supraorbitarios, auriculares posteriores y occipitales. En la región temporal procede de la arteria temporal superficial, generándose una densa red anastomótica (Snyderman et al 1990). La seguridad que transmite en su tallado hace que sea un colgajo empleado en múltiples procedimientos reconstructivos en la región craneofacial. A pesar de ser un colgajo fino, aporta tejido bien vascularizado (excepto si existe compromiso del mismo por traumatismos, cirugía o radioterapia previa) para rellenar la cavidad sinusal, obturar al mismo tiempo el conducto nasofrontal y sellar la base craneal anterior. Así, aísla el seno frontal de las vías aerodigestivas superiores y aporta tejido vascularizado para dar cobertura a posibles injertos óseos útiles para la reconstrucción u obliteración del seno frontal. Disminuye la incidencia de complicaciones postoperatorias. Evita, en principio, la necesidad de obtener material de relleno de otra localización con la consiguiente posible morbilidad asociada. La realización del abordaje coronal para tratamiento de la patología de base permite el tallado de dicho colgajo en el mismo campo quirúrgico. Simplemente es necesario un plano de disección subperióstico desde el inicio del abordaje coronal para el tallado del colgajo. El tamaño del seno frontal determinará la cantidad de colgajo a tallar. Si es necesario es posible tallar el colgajo más allá de la incisión coronal, aumentando así las dimensiones del mismo. Se fija en la posición más posterior posible para asegurar su función de sellado y obliterar además el seno frontal. Se necesita un *gap* óseo entre la pared anterior del seno frontal y la barra supraorbitaria para no comprometer la vascularización del colgajo (Snyderman et al 1990). Habitualmente los

colgajos de galea-pericráneo son tallados a pedículo anterior dependiendo de ramas procedentes de vasos supraorbitarios-supratrocleares.

Es posible el tallado de dicho colgajo de forma bipediculada dependiendo de ambos vasos temporales superficiales, siendo después rotado anteriormente y empleado para la reconstrucción intracraneal.

Una desventaja en el empleo del colgajo de galea-pericráneo es el desarrollo de una osificación anómala en la región frontal y una alteración en el contorno estético frontal (Gerbino et al 2000). Puede producir irregularidades visibles frontales y dejar una piel frontal fina vulnerable. Se produce una pérdida sensitiva transitoria en la región frontal con una duración media de 6 meses. Por otra parte, en pacientes con fracturas abiertas de la región frontal o del tipo “*through and through*”, es posible el compromiso vascular del pedículo que nutre el colgajo, poniendo en peligro la supervivencia del mismo. Otra desventaja es la devascularización de la pared anterior del seno frontal-colgajo óseo tallado para acceder al seno frontal así como la necrosis del scalp anterolateral (Snyderman et al 1990).

La disección del colgajo de galea en un plano inmediatamente subdérmico subyacente a los folículos pilosos puede provocar la alopecia local.

Una alternativa al colgajo de galea-pericráneo es el colgajo glabellar transversal, basados en los músculos corrugadores y procerus, vascularizados por los pedículos supratrocleares y supraorbitarios. La naturaleza del pedículo vascular permite al colgajo ser mono o bipediculado con un amplio arco de rotación. Este colgajo es introducido en el seno frontal a través de una ventana ósea quirúrgicamente creada en el reborde orbitario superomedial o a través de una fractura preexistente en la pared anterior del seno frontal (Disa et al 1996).

Algunos autores (Schaefer et al 1986 y Frodel 2008) defienden que, en traumatismos con conminución de la base craneal anterior y para aumentar la seguridad en el aislamiento de la fosa craneal anterior de las celdas etmoidales, es necesaria la colocación de injertos óseos en bloque o incluso mallas de titanio para reconstruir el suelo de la base craneal en defectos mayores de 2 cm de ancho (soporte mecánico del defecto craneal). Otros autores defienden que no es imprescindible dicho soporte (Cantu et al 1999) A menudo el defecto no es lo suficientemente grande como para necesitar dicha opción y el empleo del colgajo de galea-pericráneo es suficiente.

La reconstrucción mecánica del suelo de la base craneal anterior en defectos de más de 2 cm no se realiza para prevenir la herniación cerebral sino para disminuir las pulsaciones y el descenso anterior de la reparación

dural primaria disminuyendo tensión en la línea de sutura (Kryzanski et al 2008). Inicialmente en su serie empleaba injertos óseos de calota asociados a colgajos de galea. Posteriormente empleaban mallas de titanio dada la facilidad en el manejo y la disminución del tiempo quirúrgico. La malla es colocada bajo la reparación dural y encima del colgajo de galea evitando su exposición a la cavidad nasal.

El empleo de hueso autógeno en la obliteración del seno frontal se ha convertido en una técnica eficaz tras los estudios realizados durante las últimas décadas (Ioannides et al 1984, Wolfe y Johnson 1988, Shumrick y Smith 1994). Sufre una rápida vascularización útil para el relleno del seno frontal. Se produce un proceso de “creeping substitution”, actuando como soporte para la consolidación ósea (Rohrich y Mickel 1995). La neoformación ósea es estimulada tanto por los elementos celulares aportados por el injerto particulado como por los precursores osteogénicos de la zona receptora. Su uso no se estandarizó en el pasado posiblemente por la morbilidad asociada creada en la zona donante. Sin embargo el empleo de un material de relleno osteoconductor-osteoinductor favorece la consolidación ósea, motivo por el cual para muchos autores el hueso autógeno es el material de elección para la obliteración de cavidades aéreas.

En los estudios revisados en los que el seno frontal fue obliterado con hueso autógeno se objetivó relleno de la cavidad con hueso neoformado (Ioannides et al 1984, Wolfe y Johnson 1988, Shumrick y Smith 1994). Sólo Mickel et al (1995) describieron un 86% de obliteración sinusal cuando el hueso autógeno fue el material de relleno. Es difícil evaluar el grado de nuevo hueso formado con radiografías sólo, pero los estudios experimentales en animales muestran la obliteración por hueso neoformado tras el empleo de hueso autógeno.

El uso de hueso autógeno para la obliteración del seno frontal fue inicialmente descrito por Knauf en 1963. Dos años después, Goodale presentó un caso que sugería que la implantación de hueso autógeno en el seno frontal daba lugar a la obtención adecuada de consolidación ósea y a la obliteración de la cavidad. Estudios experimentales posteriores confirmaban que el implante de hueso autógeno producía obliteración ósea completa del seno frontal en perros (Hilding 1963).

La confirmación clínica de dicho hallazgo fue descrita por Grahne (1971), quién presenta una serie de pacientes con sinusitis crónica frontal tratados mediante obliteración ósea del seno frontal tras tratamiento de su patología

de base. No presentó complicaciones durante un período de seguimiento de 5 años. Los 11 pacientes mostraron evidencia radiográfica de osificación frontal completa postoperatoria. Bassett (1972) desarrolló algunas consideraciones críticas en el éxito del implante de hueso en la cavidad sinusal. Es muy deseable la colocación del implante óseo próximo a las paredes sinusales receptoras. El fresado de la cortical interna no sólo asegura la eliminación completa de la membrana mucosa sino que genera un lecho receptor óptimo que contribuye al éxito del hueso implantado a largo plazo.

Owens y Klotch (1993) confirman las observaciones clínicas en estudios experimentales con gatos. El empleo de hueso autógeno obtura el conducto nasofrontal mejor que la grasa independientemente del material utilizado para obliterar el seno.

Cuando se compara la obliteración del seno frontal con hueso autógeno frente al empleo de grasa, hay varios puntos que parecen favorecer la elección del primer método. En primer lugar, desde una perspectiva biológica, tiene más sentido obliterar una cavidad ósea con hueso que con tejido adiposo. La evaluación radiológica de los injertos grasos usados para la obliteración del seno frontal hace que sea realmente difícil distinguir entre la propia grasa injertada y la posible aparición de procesos infecciosos o mucocelos frontales. Con el empleo de hueso autógeno, cualquiera de las anteriores complicaciones puede ser diagnosticada de una manera mucho más sencilla y eficaz con las técnicas de imagen convencionales. El seguimiento radiológico con TAC puede ser realizado de una manera significativamente más fiable, ya que al presentar densidad ósea en la imagen radiológica facilita la detección precoz de complicaciones tales como mucocelos, fístulas o abscesos con extensión intra-extracraneal. Es muy importante que no sólo se estudie el relleno lineal del defecto sino también la regeneración tridimensional, es decir, el volumen óseo conseguido, un parámetro mucho más exacto a la hora de asegurar que ha existido regeneración del hueso (Gosain et al 2000).

La obliteración del seno frontal también puede ser realizada con sustitutos sintéticos óseos como la hidroxiapatita (Fattahi et al 2005) o con materiales aloplásticos tipo cartílago liofilizado (Sailer et al 1998, Kalavrezos et al 1999). En este último artículo se determinan las HU del cartílago liofilizado emplado como relleno del seno frontal, obteniendo medidas cuantitativamente superiores al hueso temporal, hueso con densidad ósea media de referencia.

Compuestos sintéticos como el metilmetacrilato, politetrafluoroetileno y cristales bioactivos (Kinnunen y Aitasalo 2006) también han sido descritos como material de relleno, no siendo a largo plazo efectivo el resultado obtenido. Muchos de ellos fracasan en la vascularización de los mismos y en la plena integración con los tejidos nativos, dando lugar a infecciones y extrusiones.

6.B.5. Injertos óseos.

Los principales objetivos que debe procurar un material a la hora de rellenar una cavidad ósea son restaurar la función y la forma del hueso que contiene la cavidad y tener estabilidad en el tiempo. Dicho material ideal debe de tener una serie de características:

1. Reforzar la resistencia y restablecer la continuidad del hueso que contiene la cavidad (estabilidad mecánica).
2. Acortar de forma significativa el periodo fisiológico de osificación.
3. Ser técnicamente simple en su utilización.
4. Contar con amplia experiencia clínica.
5. Biocompatibilidad. Evitar respuesta adversa inflamatoria.
6. Disponibilidad.
7. Bioactivo. Capacidad osteogénica, osteoconductora y osteoinductiva.
8. Mantenimiento de forma y volumen con el tiempo.
9. Radiolucidez
10. Térmicamente no conductivo.
11. Esterilizable.
12. Coste razonable.

El material que cumple con la mayoría de estas características es el injerto de hueso autólogo corticoesponjoso particulado o esponjoso. Representa el material reconstructivo ideal pues aporta biocompatibilidad total, tiene un elevado potencial osteogénico, una gran resistencia mecánica y a la infección y asegura una rápida consolidación.

Aunque se han descrito numerosos materiales para rellenar una cavidad ósea, el mejor material sigue siendo el hueso autólogo corticoesponjoso o particulado, que puede formar hueso nuevo por diversos mecanismos.

La neoformación ósea que se produce en la cavidad es mediada por tres procesos básicos, que pueden acontecer aislada o simultáneamente en

función del material de reconstrucción empleado, y que se conocen como osteogénesis, osteoconducción y osteoinducción.

Osteogénesis es la neoformación ósea mediada por el trasplante en el material de relleno de células vivas, que llevan a cabo la regeneración ósea de una forma directa. Este mecanismo es propio de los autoinjertos y es especialmente importante en los injertos corticoesponjosos y particulados de esponjosa debido a la más rápida revascularización.

Osteoconducción es el proceso por el cual el material inorgánico implantado ofrece una matriz para el crecimiento de células óseas progenitoras desde los márgenes del defecto. Dicho material puede ser permanente o reabsorbible. El material osteoconductor puro no forma hueso de una forma intrínseca, su osificación no es endocondral y la formación de hueso siempre comienza en la periferia.

Osteoinducción es la capacidad que tienen algunos materiales de liberar determinadas sustancias llamadas osteoinductores, capaces de inducir la formación de hueso por un mecanismo endocondral en zonas alejadas del margen del lecho receptor. En la práctica, este tipo de regeneración ósea, sólo se consigue con el injerto autólogo y alogénico. En los últimos años se han ido caracterizando una serie de factores y sustancias responsables del proceso de osteoinducción, entre las que se encuentran las *Bone Morphogenetic Proteins (BMPs)*, que recientemente se han desarrollado de forma recombinante (*rhBMPS*). Presentan un mecanismo puro de osteoinducción, y obviarían la necesidad de obtener hueso autógeno. Han demostrado resultados preliminares interesantes mejorando la angiogénesis, cicatrización ósea y cartilaginosa. Actualmente se está trabajando con técnicas de ingeniería tisular para conseguir su comercialización clínica.

Un material es osteoinductor si es capaz de crear hueso donde en condiciones normales no existiría, mediante la conversión fenotípica de tejido conectivo en hueso normal (Reddii 1972). Es decir, la formación heterotópica de hueso o hueso fuera del esqueleto. Para poder definir un material como osteoinductor hay que probar esto en modelos animales. La osteoinducción se caracteriza también por existir nidos de osificación en el centro del defecto ya que no depende tanto de la regeneración a partir de las paredes del defecto.

Los mecanismos que participan en estos procesos se han ido conociendo en los últimos años gracias a la investigación básica, lo cual nos ha permitido enjuiciar de forma crítica los diversos materiales disponibles, decidir entre

todos ellos el más apropiado ante cada situación clínica, manejarlos con una técnica óptima y mantener expectativas reales con los nuevos materiales en fase de ensayo clínico o experimental. La máxima pérdida de volumen ocurre cuando existe un contacto incompleto con el hueso que lo rodea. Además, cierto grado de reabsorción es inevitable en áreas no funcionales (Whitaker 1989).

6.B.5.1. Tipos de injertos óseos

La forma básica de aportar hueso con capacidad osteogénica en el área maxilofacial es mediante injertos de hueso no vascularizado (Infante-Cossío et al 2007) Se pueden utilizar injertos en bloque de cortical, hueso córtico-esponjoso o hueso esponjoso y particulado. El injerto córtico-esponjoso traslada más matriz ósea mineral al lecho que células osteocompetentes, y forman menos hueso nuevo que los injertos de esponjosa. El bloque de hueso cortical tiene la propiedad principal de proporcionar estabilidad mecánica. Sin embargo sus capacidades osteogénicas y osteoinductivas son muy escasas debido a la ausencia de estructura porosa. Los injertos de hueso particulado y de esponjosa trasplantan una alta densidad de células osteocompetentes y, por su estructura trabeculada, promocionan una revascularización rápida desde el lecho receptor. Sin embargo, debido a su consistencia, precisan tener una adecuada retención en la cavidad ósea donde se coloquen, proporcionada habitualmente por el periostio del colgajo de partes blandas.

Para el relleno de cavidades se utiliza el injerto particulado, injertos de esponjosa tomados con cucharillas, gubia o trefinas e injertos córtico-esponjosos particulados con un molinillo de hueso, tomados de zonas donantes intra o extraorales. Si el injerto se compacta cuidadosamente en la cavidad aumenta la densidad celular, y por ende la cantidad de hueso neoformado y su duración. Una vez consolidado el injerto, estas reconstrucciones resultan muy aceptables estética y funcionalmente.

Los injertos pueden ser clasificados de la siguiente manera:

1. Injertos autólogos o autógenos (injerto particulado de esponjosa, cortical, corticoesponjosa, hueso vascularizado o médula ósea aspirada). Supone la transferencia de material obtenido de una localización anatómica a otra dentro del mismo individuo. Es el material de elección por su capacidad osteogénica y su nula capacidad antigénica. Existen diferentes zonas donantes intraorales o

extraorales, siendo éstas las preferidas porque aportan mayor volumen óseo. La cantidad de hueso a transferir es limitada y existe morbilidad en la zona donante.

2. Injertos homólogos, alogénicos o aloinjertos. Procedentes de otro individuo de la misma especie, genéticamente diferente. Se trasplantan algunos antígenos incompatibles. Necesita un proceso para eliminar su capacidad antigénica.
3. Injertos heterólogos o xenoinjertos. Su fuente es un animal de otra especie, por lo que se trasplantan aún más antígenos extraños que en los alogénicos.
4. Injertos aloplásticos o sintéticos. La respuesta inmune que despierta un material aloplástico puede variar desde ninguna a moderada. Algunos son susceptibles de colonización bacteriana. Su principal ventaja es que obvian la necesidad de una zona donante del propio sujeto. Se usan básicamente para proporcionar una matriz para el crecimiento óseo en su interior, por lo que su efecto es tan sólo osteoconductor y débilmente osteoinductor. Incluye proteínas sintéticas osteoinductivas.

Así mismo y de forma general, los materiales de relleno se pueden dividir en 2 tipos:

1. Los injertos que trasplantan células vivas (en la práctica clínica sólo han demostrado su utilidad los autoinjertos, que no evocan respuesta inmunológica)
2. Aquellos materiales de regeneración ósea que se colocan en el lecho receptor exentos de toda viabilidad celular.

El material autólogo es el más biocompatible que existe ya que no introduce en la cavidad ningún antígeno extraño. Estas propiedades (no ser ni alergénico ni patogénico) constituyen precisamente el argumento de mayor peso para su uso. Tiene como desventaja la necesidad de una zona donante para su obtención. Es necesario decidir entre una zona próxima o a distancia, lo que puede conllevar nuevos campos quirúrgicos. Sin embargo, la toma de un injerto raramente deja secuelas significativas en el paciente y la morbilidad en la zona donante suele ser aceptable tanto para el paciente como para el cirujano.

6.B.5.2. Zonas donantes de injertos autólogos

Hueso de calota craneal, costilla y cresta ilíaca son las zonas donantes a las que más frecuentemente se recurre cuando es necesaria la toma de injertos. Pueden ser divididos según sus diferencias embriológicas e histológicas. El hueso craneal tiene un origen membranoso sin precusores cartilaginosos. La costilla y la cresta ilíaca tienen un origen endocondral, teniendo originariamente precusores cartilaginosos.

Es esencial conocer las ventajas y limitaciones de cada fuente donante, los resultados que se pueden conseguir y su potencial morbilidad. Hoy en día se recurre a los maxilares para relleno de pequeños defectos y al hueso ilíaco, tibia o calota si se requiere mayor cantidad. La selección de cada abordaje dependerá del tipo, tamaño y forma de la cavidad ósea, y la experiencia clínica y preferencias del cirujano

Respecto a los maxilares, la sínfisis, cuerpo y rama ascendente de la mandíbula son fuentes de injertos corticales de lenta reabsorción, y el área retrotuberositaria maxilar de hueso esponjoso. Pueden ser fuentes válidas de obtención de hueso para reconstrucciones pequeñas.

La cresta ilíaca es la zona donante que aporta la mayor cantidad de hueso esponjoso. Es una de las zonas donantes de hueso más frecuentemente empleadas, tanto vascularizado como no. Grandes cantidades de hueso cortical, esponjoso o corticoesponjoso (presenta dos gruesas corticales con una gran cantidad de hueso esponjoso entre ambas) pueden ser obtenidas para el relleno de defectos de diferentes tamaños. Se toma más frecuentemente de su porción anterior (Shumrick y Smith 1994) y la cantidad máxima que se puede obtener sin causar una importante morbilidad es de 50cc. También se pueden obtener injertos de cresta ilíaca de su porción posterior (Ahlmann et al 2002). Puede ser tallado por dos equipos quirúrgicos simultáneos. La complicación postoperatoria más frecuente es la molestia y dificultad en la deambulación. La incidencia de esta complicación se minimiza si se toma el injerto de la *pars medial* de la pala ilíaca en vez de la externa. También puede haber alteraciones nerviosas sensitivas (nervio cutáneo femoral lateral), hematoma persistente, herniación del contenido abdominal, daño vascular, fracturas o inestabilidad ilíaca o acetabular y defectos en el contorno de la cresta ilíaca. Se ha demostrado experimentalmente que el hueso de origen endocondral sólo mantiene el 50% de su volumen a medio plazo (Zins y Whitaker 1983). Requiere al igual que la costilla un segundo campo quirúrgico.

La obtención de hueso tibial es un procedimiento técnicamente sencillo con baja tasa de complicaciones. Se obtiene entre 5 y 30cc de hueso esponjoso particulado. Incluso puede realizarse bajo anestesia local y sedación intravenosa. Tanto la cresta ilíaca como el hueso tibial puede ser obtenido con trefinas.

Respecto al hueso de costilla, sus indicaciones son escasas hoy en día. Se extrae entre la 5^a-7^a costilla. Tiene menor cantidad de esponjosa, se reabsorbe en mayor cantidad y más rápidamente y presenta como complicación la posibilidad de dañar la pleura, crear un neumotórax y la posible deformidad estética.

6.B.5.2.1. Injerto óseo particulado de calota

El éxito de cualquier injerto óseo particulado depende de varios factores técnicos:

1. Debe ser obtenido a baja velocidad para evitar el daño térmico al mismo.
2. La parte activa del rascador no debe superar el centímetro de ancho (favorece así la curación de la zona donante) y debe ser plana para maximizar el rendimiento y limitar la penetración.
3. Los bordes óseos que rodean al injerto deben estar bien vascularizados para favorecer la osificación. Todo fragmento óseo inestable que rodee al injerto debe ser retirado. La supervivencia de los injertos óseos particulados depende de la vascularización de los tejidos circundantes.
4. Los injertos particulados pueden ser estabilizados con adhesivos de fibrina u otros sustitutos óseos para evitar el desplazamiento.
5. Evitar el empleo de injertos particulados en áreas donde la duramadre o el pericráneo estén dañados, existan cicatrices o genéticamente sean anormales.

El éxito en la obtención del injerto depende de la correcta planificación y conocimiento anatómico de la zona donante. La pérdida de sangre y morbilidad se deben reducir al máximo. Los injertos de hueso particulado pueden obtenerse además de otras formas más sencillas: mediante el uso de trefinas, filtros de hueso que lo recolectan del aspirador o raspadores de

hueso. Estos sistemas de recolección de virutas de hueso autólogo son baratos y por su alta predictibilidad se han constituido como una alternativa válida y fiable para relleno de cavidades óseas de tamaño moderado.

Una de las limitaciones en el uso de hueso particulado es que no proporciona soporte estructural inmediato ni contorno. Su empleo como injerto óseo puede ser menos efectivo en áreas donde la duramadre o el pericráneo sufren alteraciones anatómicas (cicatrización tras intervenciones previas, irradiación, infección o grandes defectos congénitos donde la calidad osteogénica de la duramadre puede estar genéticamente alterada).

A diferencia de los injertos estructurales o en bloque, los injertos óseos particulados son más dependientes de la osteoinducción y de la osteogénesis en el proceso de curación ósea y mantenimiento de volumen (Rogers et al 2011).

El injerto de calota craneal presenta en cirugía maxilofacial una amplia aceptación dada su proximidad al campo quirúrgico, a la limitada capacidad de reabsorción de este hueso en comparación con otras fuentes (gracias a la gran red de canales que posee por su origen membranoso, que permite su rápida revascularización y el mantenimiento de un gran número de células osteocompetentes), y a la baja morbilidad asociada en manos expertas. Es uno de los injertos óseos corticales más populares empleados en cirugía reconstructiva craneomaxilofacial debido a sus propiedades mecánicas. Típicamente sólo la cortical externa es empleada aunque un injerto de espesor total puede ser tallado y dividido en 2 injertos si las necesidades reconstructivas así lo demandan. La cortical externa puede ser obtenida en forma de virutas óseas con rascador o tallando injertos corticales de espesor parcial. El injerto particulado es luego mezclado con sangre en un recipiente metálico hasta su utilización.

Si se ha realizado una craneotomía, la cortical interna puede ser tallada del colgajo óseo, reponiendo la cortical externa en su posición original y manteniendo así el contorno craneal. El hueso craneal continúa su crecimiento hasta los 8 años, continua aumentando su espesor hasta los 20 años y es más grueso en la región parietal.

Existen una serie de condicionantes anatómicos a tener en cuenta antes de tomar un injerto de calota craneal:

1. El espesor craneal es altamente variable hasta el punto de llegar a ser impredecible, incluso en la región parietal. Pruebas de imagen preoperatorias nos pueden dar una idea del espesor total de la calota.

2. La duramadre está firmemente adherida a la cortical interna y puede resultar dañada al tallar injertos de espesor total.
3. Existen estructuras vasculares importantes bajo el hueso craneal, incluyendo el seno sagital superior en línea media.
4. Las dos corticales se fusionan y el hueso puede ser más fino lateral e inferior a la línea temporal, donde se inserta el músculo temporal, y en las líneas de suturas craneales.
5. Otras variables anatómicas incluyen las venas emisarias transcorticales, vasos subcorticales y plexos aracnoideos aberrantes dentro del espesor cortical.

En el momento actual, la obtención de hueso de calota craneal presenta una mínima morbilidad residual en el área donante. La toma de los injertos para la obliteración del seno se realiza mediante un rascador de hueso bajo irrigación externa asociada. De esta manera se obtienen virutas de calota procedentes de la tabla externa craneal excelentes para un relleno eficaz de la cavidad sinusal frontal. Si es necesaria la reconstrucción asociada de alguna pared del seno frontal, el mismo abordaje coronal favorece la toma de injertos de calota (también tallados de la cortical externa) para dicho fin. Presenta ventajas significativas para la obliteración cuando existe pérdida de paredes óseas, conminución de los fragmentos sinusales o cuando es necesario emplear injertos óseos. Su potencial osteoconductor favorece la creación de una estructura tridimensional de soporte para la formación de nuevo hueso dentro de la cavidad sinusal, obliterándola de manera precisa tras asegurar un contacto adecuado de las virutas óseas con la cavidad sinusal residual.

El injerto óseo particulado de calota se incorpora y crece con el resto del cráneo de manera que esta técnica es aplicable a cualquier edad. Puede ser obtenido del cráneo incluso de pacientes jóvenes en los que el espacio diploico todavía no se haya formado. Como el defecto creado en la superficie cortical es menor que el tamaño crítico cura completamente y la zona ósea donante vuelve a su espesor, forma y resistencia preoperatoria.

La evaluación con CT demuestra que el injerto óseo particulado empleado en la reconstrucción de defectos craneales se integra completamente y alcanza el mismo grosor que el hueso craneal que le rodea, formando incluso un espacio diploico en el niño en crecimiento (Rogers et al, 2011). El hueso particulado es clínicamente indistinguible del hueso nativo. El procedimiento necesario para su obtención es básico, barato y disponible en cualquier parte del mundo.

Presenta ventajas significativas para la obliteración cuando existe pérdida de paredes óseas, conminución de los fragmentos sinusales o cuando es necesario emplear injertos óseos. Su potencial osteoconductor favorece la creación de una estructura tridimensional de soporte para la formación de nuevo hueso dentro de la cavidad sinusal, obliterándola de manera precisa tras asegurar un contacto adecuado de las virutas óseas con la cavidad sinusal residual.

La principal complicación es la lesión de la duramadre tras la toma de injertos en bloque. La zona de calota preferida es la que corresponde al hueso parietal, donde mantiene un mayor grosor y cantidad de hueso esponjoso. La accesibilidad en esta zona es la más sencilla y apenas produce dolor postoperatorio. Habitualmente se toma el injerto respetando la cortical interna. Cuando el injerto es tomado con un rascador en forma de virutas de calota puede ser obtenido de toda la cortical externa de la bóveda craneal. Otras complicaciones incluyen la deformidad estética craneal.

Algunos autores (Rogers et al 2011) emplean el injerto óseo particulado de calota para la reconstrucción de defectos craneales de hasta 25 cm². El porcentaje de curación ósea de estos defectos craneales con injertos particulados es del 97.8%. No se aprecian defectos residuales resultantes donde se obtuvo el injerto particulado.

El uso de injerto óseo particulado de calota como material empleado para craneoplastias fue descrito por Shehadi (1970). Demuestra el éxito de esta técnica en un modelo experimental en perros y después en pacientes de 3 a 27 años con defectos de hasta 12 cms de diámetro.

Bakamjian y Leonard (1977) modifican después esta técnica añadiendo oxigelulosa sobre el injerto particulado y encuentran evidencia clínica de osificación en defectos de hasta 9 cms.

Este trabajo fue luego justificado por Greene et al (2008) quienes demostraron la eficacia del injerto óseo particulado en craneoplastias tras defectos craneales establecidos, en prevención de gaps coronales tras avances frontoorbitarios y en la reducción de la frecuencia de defectos óseos tras expansión craneal.

6.B.5.3. Incorporación del injerto al lecho receptor.

La incorporación de los distintos injertos óseos al sitio receptor implica dos pasos principales (Elsalanty y Genecov 2009):

1. Unión ósea entre los bordes del injerto con los bordes de los segmentos óseos nativos.
2. Remodelación del injerto, o reabsorción gradual del injerto, concomitante con su reposición por hueso nuevo. La remodelación del injerto puede ser de escasa importancia en casos de injertos vascularizados donde el hueso puede ser viable desde el momento de la implantación. En este caso el proceso de remodelado es similar al del hueso normal.

Idealmente el injerto óseo completo puede ser incorporado al sitio receptor. El espacio que el injerto ocupa originalmente podría llegar a ser hueso viable tras los mecanismos fisiológicos de remodelado. Este proceso es típicamente muy lento. Muchos factores determinan cuánto durará el proceso de incorporación. Estos factores dependen del propio injerto, del lecho receptor y de la interfase entre ambos.

Factores relacionados con el injerto incluyen el tipo de injerto, la porosidad y el mecanismo de acción. Injertos esponjosos y corticoesponjosos autólogos son mejor incorporados dada su arquitectura porosa y porque permiten una fácil invasión vascular y celular. Las trabéculas del injerto tienen una gran área de superficie cubierta por osteoblastos, haciéndolo osteogénico así como osteoconductor para el crecimiento óseo tridimensional. Debido a la extensa invasión vascular, la matriz ósea puede ser desmineralizada y sus proteínas expuestas a través de la acción de los osteoclastos. Esto provoca una liberación de una matriz de proteínas osteoinductivas. Los injertos corticales son más sólidos. El único acceso disponible para la invasión vascular y celular es la unión con los segmentos óseos adyacentes, siendo el proceso de integración lento. La estabilidad del injerto en el lecho receptor es imprescindible. La formación de hueso requiere niveles titulares muy bajos de tensión. El ratio entre el tamaño del injerto y el área de contacto con circulación es el mayor determinante de la velocidad de incorporación del injerto. Otro factor importante es la vascularización y la viabilidad del lecho receptor. El injerto óseo típicamente necesita adherirse a bordes óseos viables con vascularización adecuada. La excesiva génesis de calor durante la osteotomía puede provocar necrosis de los bordes óseos y retardo en la incorporación del

injerto. Finalmente, la incorporación del injerto depende de la capacidad de curación fisiológica del individuo. El proceso biológico que lleva a la incorporación del injerto es muy similar al que sucede en la reparación de las fracturas. La cascada comienza con el hematoma quirúrgico, que incluye el reclutamiento de plaquetas y células blancas sanguíneas y la subsecuente liberación de factores de crecimiento esenciales y citoquinas. Los monocitos reclutados se diferencian en osteoclastos y empiezan a eliminar los bordes óseos necróticos, con la desmineralización de la matriz y la liberación de factores de crecimiento óseo. Esto conduce a la diferenciación de osteoblastos y desencadena la unión entre el injerto y los bordes óseos nativos. Al mismo tiempo, nuevos vasos sanguíneos formados dentro del tejido de granulación tunelan el injerto.

La incorporación del injerto ha sido resumida por Bauer y Muschler (2000) en 5 pasos principales:

1. Formación del hematoma, liberación de factores inductores óseos y reclutamiento celular.
2. Inflamación y desarrollo de tejido fibrovascular, conectando el injerto con el hueso adyacente.
3. Invasión vascular del injerto.
4. Reabsorción focal del injerto mediante osteoclastos reclutados.
5. Formación de hueso nuevo, unión entre el injerto y hueso que lo rodea y remodelado del injerto.

La reabsorción lenta es una desventaja si el injerto es usado para aumentar la formación de hueso en el sitio receptor. La incorporación del injerto es inversamente proporcional a la solidez y reabsorción lenta del mismo (Bauer y Muschler 2000). Los injertos con propiedades osteoconductoras con espacios internos interconectados que alcanzan la superficie externa son mejores estructuras para la directa invasión ósea tridimensional del injerto. Esta arquitectura proporciona una mayor área superficial con osteoclastos nativos que pueden adherirse y comenzar a disolver el injerto, primera etapa en la incorporación del mismo. (Elsalanty y Genecov 2009).

Desde el punto de vista biomecánico, la importancia de la fijación en áreas que no soportan cargas se minimiza. Los injertos en estas regiones, como el cráneo, muestran escasa reabsorción con independencia de la fijación. En la elección de la zona donante ideal para la reposición ósea se debe tener en cuenta el potencial de revascularización de la zona receptora y los requerimientos biomecánicos.

El material injertado debe ser capaz de resistir la manipulación quirúrgica y mantener su estabilidad una vez implantado en la cavidad. Los injertos corticales son los que proporcionan mayor estabilidad, si bien en el relleno de una cavidad es lo menos importante.

Una propiedad interesante es su estabilidad en el tiempo. La capacidad de reabsorción es más baja en los injertos autólogos esponjosos, sobre todo si el material de relleno queda adecuadamente cubierto por el periostio del colgajo, lo que favorece la vascularización e incorporación del hueso trasplantado de forma temprana.

Aunque es cierto que ningún material de relleno es capaz de poseer todas las propiedades ideales, al considerar la elección de uno u otro, hay que contemplar aspectos de antigenicidad, morbilidad, factores económicos... Desde el punto de vista de sus propiedades biológicas, el mejor material de relleno es sin duda el hueso autólogo particulado.

Es importante mantener el injerto en su posición y evitar que los tejidos blandos interfieran la cicatrización ósea. Durante las primeras fases de cicatrización del material injertado, se produce una competición entre el tejido óseo y el blando para rellenar la cavidad. Debido a que la formación de tejido blando es más rápida, tiende a ocluir la cavidad. El desarrollo de membranas de regeneración ósea guiada puede ser eficaz al proteger mediante efecto barrera el material de relleno, previniendo el rápido crecimiento de los tejidos blandos hacia el injerto. Sin embargo se han documentado problemas en relación con las membranas: dehiscencia de tejidos blandos y exposición, desplazamientos y colapsos. Las membranas se comportarían como cuerpos extraños pudiendo dar lugar a infección y retrasos en la cicatrización, y si tuvieran que ser retiradas precozmente, la regeneración ósea sería menos predecible. El punto más controvertido se centra en si colocar una membrana cuando el periostio del colgajo mucoperióstico está indemne. Parece claro que las membranas pueden ser útiles cuando se utilizan injertos corticales en bloque o materiales aloplásticos exclusivamente porque permite la neoformación ósea. Sin embargo, el injerto de hueso con alto porcentaje de células osteocompetentes, consolida rápidamente favorecido por el aporte vascular que proviene principalmente del periostio suprayacente y por las propiedades osteogénicas de las capas más internas del periostio. Una membrana que separe el injerto del periostio podría enlentecer la cicatrización del injerto.

6.B.5.4. Injertos autólogos vs sustitutos óseos. Combinación de ambos.

El hueso autólogo particulado continúa siendo el material de elección para el relleno de cavidades, a pesar de los esfuerzos realizados para conseguir resultados similares con otros materiales, especialmente con hueso alogénico y xenogénico, sustitutos óseos y biomateriales. Probablemente son dos las razones por las que los materiales autólogos mantienen su preponderancia en cirugía maxilofacial. Por un lado, el hecho de que no se haya encontrado un material ideal alternativo tras años de intensas investigaciones y de aplicación clínica. Sus potenciales ventajas (obviar la morbilidad en una zona donante y su disponibilidad ilimitada) no han superado sus inconvenientes: intolerancia, falta de adaptabilidad, reabsorción, escasa aceptación por el paciente, coste económico...

En segundo lugar, la versatilidad, supervivencia y adaptabilidad de los materiales autólogos se ha visto respaldada por la simplificación y mejor conocimiento de las técnicas de obtención de hueso, sobre todo para defectos de pequeño y moderado tamaño.

En términos biológicos el mejor material de relleno de una cavidad es sin duda el autoinjerto óseo, ya que puede formar hueso nuevo en el lecho por mecanismos de osteogénesis, osteoconducción y osteoinducción. El resto de materiales carecen de capacidad osteoprogenitora, y son en general buenos osteoconductores con variable poder osteoinductor. El factor inmunológico que determina el resultado del material de relleno es el rechazo, lo cual viene mediado primariamente por la activación de la respuesta inmune antígeno específica. El material autólogo no introduce en el lecho ningún antígeno, por lo que desde el punto de vista inmunológico, el material autólogo sería el mejor y más seguro, y se debe considerar como primera elección cuando sea posible.

El hueso autólogo es considerado el patrón oro, sin embargo presenta inconvenientes importantes, como la morbilidad de la zona donante, la limitación en la cantidad de hueso disponible y la morfología anatómica del mismo. Para superar estos inconvenientes se busca incansablemente el sustituto óseo ideal.

Una característica a tener en cuenta con respecto al injerto autólogo es que su disponibilidad es limitada, por lo que en caso de indicarse en el relleno de cavidades grandes y ser insuficiente, se puede mezclar con otro tipo de materiales. Así, se pueden utilizar diferentes mezclas y proporciones para aprovechar al máximo las capacidades osteogénicas, osteoconductoras y osteoinductoras de todos ellos. Sin embargo, sólo el hueso autógeno tiene

propiedad osteogénica, esto es, capacidad de incluir en el injerto osteoblastos o células indiferenciadas osteocompetentes, capaces de crear hueso. Pero no todo el hueso autólogo tiene la misma capacidad osteogénica; la esponjosa es la que proporciona la mayor cantidad de células osteogénicas. Los materiales alogénicos, xenogénicos, sustitutos óseos y aloplásticos, no aportan ninguna célula osteocompetente. Su principal función consiste en proveer una matriz que puede ser sustituida por células osteocompetentes residuales del lecho de la cavidad. Este tipo de formación de hueso es muy limitada y ligada al estado del lecho óseo receptor.

La combinación de injertos autólogos con otros materiales de relleno ha desembocado en múltiples artículos, sin que se puedan establecer conclusiones definitivas por el momento. Uno de los mayores retos planteados hoy en día en la cirugía oral y maxilofacial es la reconstrucción con materiales de relleno de cavidades y defectos óseos, buscando la excelencia y el material de relleno ideal. Las técnicas de regeneración ósea y el uso de diversos materiales osteoinductivos suscitan cada día más interés. Para regenerar hueso dentro de una cavidad se han utilizado diversos materiales, que incluyen injertos óseos autólogos, materiales alogénicos y xenogénicos, sustitutos óseos, técnicas de regeneración ósea guiada y, más recientemente, el uso de proteínas óseas recombinantes humanas morfogenéticas. La elección en la práctica clínica de un material de relleno u otro exige un conocimiento de los mecanismos íntimos que intervienen en la regeneración ósea, que permita valorar de forma crítica la avalancha de información sobre los materiales disponibles.

En trabajos de revisión de elevaciones de seno (Merckx et al 2003) se concluye que el mejor material es el hueso autólogo ya que produce neoformación ósea en mayor cantidad y de forma más temprana (4 meses), siendo su inconveniente principal la tendencia a la reabsorción a partir de ese periodo. En caso de mezclar con otros biomateriales, no están establecidas las proporciones de los distintos componentes empleados para el relleno. Algunos estudios (Winter et al 2003) concluyen que la regeneración ósea se acelera al no utilizar injerto ya que como sabemos debe de pasar siempre por una etapa inicial de reabsorción antes de depositarse nuevo hueso. El proceso de regeneración ósea en el grupo de sólo elevación de membrana es un proceso continuo de deposición de hueso a partir de los factores endógenos del coágulo y de las células mesenquimales osteogénicas contenidas en la membrana mientras que ese proceso en el grupo del hueso autólogo se inicia con la reabsorción de partículas óseas injertadas. Sabemos que las células del injerto autólogo mueren cuando están a más de 100 micras de distancia de una fuente

vascular, (calcula que se necrosan el 95% de los osteoblastos del injerto) (Munuera 2000), transformándose en tejido no vital, igual que si utilizamos un sustituto óseo. Ambos materiales deben ser en primer lugar reabsorbidos para luego aponer nuevo hueso en la zona. Este proceso primero de reabsorción activa de un tejido no vital y no reactivo y la posterior aposición de hueso neoformado no supone ninguna ventaja desde el punto de vista biomecánico y lógicamente retrasa mucho el periodo de regeneración.

La literatura médica está llena de trabajos que buscan ese sustituto ideal al hueso autólogo, sin embargo los errores metodológicos y de interpretación de resultados son muy frecuentes. Para obtener datos clínicos fiables sobre los sustitutos óseos necesitamos modelos experimentales animales adecuados, cuyos resultados sean reproducibles y comparables entre sí y estudios de aplicación en la práctica clínica.

Aunque el injerto óseo autólogo es todavía considerado el patrón oro en reconstrucción de defectos óseos, existen avances significativos en materiales alternativos al hueso natural. Un sustituto óseo puede ser definido como un material sintético, inorgánico o biológicamente orgánico que puede ser empleado para el tratamiento de defectos óseos. El primer caso descrito fue en 1892 cuando Dressmann emplea sulfato cálcico para rellenar defectos óseos.

Aunque inicialmente en la historia de los sustitutos óseos en cirugía craneofacial el énfasis se ponía en las propiedades físicas del material en sí mismo, la ciencia de los biomateriales y los sustitutos óseos está actualmente centrada en los efectos biológicos de los implantes sobre el tejido adyacente y en la posibilidad de promover neoformación ósea. Parece claro que la interfase biológica entre el implante y el huésped guiará el futuro de la investigación en este campo (Prior et al 2009).

Los materiales exógenos (sustitutos óseos) presentan la clara ventaja de su infinita disponibilidad y la ausencia de morbilidad en la zona donante. Son fáciles de usar, adaptables al defecto y manejables, presentando ventajas intraoperatorias relativas al tiempo quirúrgico. Actualmente presentan importantes mejoras en sus perfiles de seguridad. Sin embargo, puede fracasar su vascularización y posterior osteointegración, con el consiguiente riesgo de infección y extrusión del implante.

El metilmetacrilato ha sido ampliamente utilizado en reconstrucción craneal. Una franca desventaja es la reacción exotérmica que se produce en su proceso de endurecimiento, alcanzando temperaturas de hasta 140° F.

Esto provoca destrucción celular local y una significativa reacción a cuerpo extraño. Tasas de fracaso de hasta el 50% han sido descritas con el empleo del metilmetacrilato en la cirugía reconstructiva craneofacial (Altman et al 2007).

Los artículos publicados indican que el uso de cementos de hidroxiapatita presentan una baja tasa de complicaciones cuando se combinan con una adecuada exéresis de la mucosa y una osteoplastia cortical interna (Rosen y Nachtigal 1995). En 1991, Friedman y Constantino emplean cemento de hidroxiapatita para oblitera un lado en 9 senos frontales atraumáticos de felino. Los animales fueron sacrificados a los 6,12 y 18 meses. Tras el examen microscópico, los especímenes mostraron un 30% de sustitución de la hidroxiapatita por hueso a los 12 meses y del 63% a los 18 meses.

Respecto a los aloinjertos, los de cartílago muestran una progresiva tendencia a la osificación que comienza aproximadamente a los 25-40 días de la implantación (Sailer et al 1998) Tras un año el cartílago puede estar fijado a su sustrato por regeneración ósea. Se persigue una reabsorción del componente liofilizado con simultánea formación ósea hasta la formación de hueso maduro lamelar, persiguiendo una resistencia a la reducción volumétrica del mismo (Kalavrezos et al 1999). Puede ser combinado con injertos óseos autólogos en casos de defectos óseos extensos. Existe evidencia radiológica de la similitud entre la radiopacidad del hueso frontal y el cartílago liofilizado empleado como material para la obturación completa sinusal, pero dicha imagen no es obtenida hasta pasados 6 años desde la intervención quirúrgica. Por otra parte, la tasa de complicaciones postquirúrgicas (infecciones), aunque baja, no debe ser olvidada (Kalavrezos 2004).

Kim et al (2002) exponen que el hueso desmineralizado y el PRP producen un aumento significativo en la regeneración ósea si se compara con el empleo de hueso desmineralizado sólo. Sin embargo, Marden et al (1993) encuentran que el factor de crecimiento derivado de plaquetas inhibe la regeneración ósea inducida por la osteogenina (BMP) en defectos creados tras craneotomías en ratas.

6.B.6. Demineralized Bone Matrix (DBX)

Demineralized Bone Matrix (Musculoskeletal Transplant Foundation, MTF, USA, Edison, NJ) es una preparación comercialmente disponible (Synthes) de matriz ósea desmineralizada reducida a partícula tras un procesamiento adecuado del hueso humano combinado con hialuronato sódico. El tejido óseo ha sido recogido de un donante fallecido cuyos parientes más cercanos han dado su permiso para la donación de hueso. Puede emplearse sólo o en combinación con hueso autólogo y /o plasma rico en plaquetas. Es para uso en un solo paciente. Debe almacenarse a temperatura ambiental (15°C-30°C). No precisa ni congelación ni refrigeración. Es reabsorbible, siendo sustituido de forma gradual por hueso neoformado. La consistencia de la matriz ósea desmineralizada no se modifica con la temperatura corporal. Permite así el fácil modelado del producto tanto fuera como dentro de la zona intervenida. Se incluye una tarjeta del implante *Tissue Trace* y se incluyen tarjetas autoadhesivas en cada envase de producto.

Su composición en peso es:

32% hueso desmineralizado
65.3% fosfato salino
2.7% hialuronato sódico

Antes de la donación, el historial médico-social del donante ha sido estudiado por si existieran condiciones médicas o enfermedades que pudieran ser una contraindicación para la donación de tejidos, según las políticas y procedimientos actuales aprobados por la Junta de Asesoramiento Médica de MTF. Todas las políticas y procedimientos de MTF para el cribado de donantes y ensayos sexológicos y microbiológicos, cumplen las normas actuales establecidas por el *American Association of Tissue Banks* y las normas reglamentarias españolas que le son de aplicación. Las contraindicaciones para la donación de tejidos incluyen: enfermedad infecciosa, enfermedad maligna, enfermedades neurológicas degenerativas, enfermedades de etiología desconocida y exposición a sustancias tóxicas.

Los resultados de las pruebas para enfermedades infecciosas, junto con la documentación de consentimiento, el historial médico del donante y una evaluación del riesgo de comportamientos según las *Public Health Service Guidelines*, una evaluación física, los datos médicos disponibles,

incluyendo el historial médico anterior, los resultados de las pruebas de laboratorio, informes de autopsia o defunción, así como informes de otras fuentes o archivos que puedan indicar la idoneidad del donante, junto con los resultados de las pruebas de recogida, han sido evaluados por MTF y justifican que cumplen con los criterios de admisibilidad del donante vigentes en el momento de la recogida. Los criterios de idoneidad empleados en la selección de este donante están conformes con los reglamentos actuales de la FDA y de la Unión Europea.

Las muestras de sangre del donante extraídas en el momento de la recogida fueron sometidas a las pruebas detalladas a continuación por un centro autorizado por la CLIA:

1. Antígeno de superficie de la hepatitis B
2. Anticuerpo del núcleo de la Hepatitis B
3. Anticuerpo de la Hepatitis C
4. Anticuerpo de la VIH-1
5. Anticuerpo de la VIH-2
6. Anticuerpo de la HTLV-I/II
7. Sífilis

Además se han realizado pruebas para ADN de VIH-1 mediante reacción en cadena de polimerasa (PCR). Los resultados de las pruebas sexológicas y ADN VIH por PCR fueron negativos. Cultivos de sangre y tejidos del momento de la recogida se analizaron por lo siguiente: cultivos aeróbicos y anaeróbicos de sangre y contaminantes microbianos de superficie aeróbicos y anaeróbicos.

Los documentos que a continuación se detallan se conservan en los archivos de MTF: los nombres y direcciones de los laboratorios de control, resultados e interpretación de todas las pruebas de enfermedades infecciosas y microbianas, documentos examinados como parte del historial médico pertinente y el nombre de las personas o centros que han determinado la idoneidad de este tejido humano, y están disponibles previa petición del interesado.

Es obtenido bajo condiciones estrictas de esterilidad, lavado, tratado con antibióticos, desmineralizado con ácido clorhídrico y combinado con un carrier (hialuronato sódico al 4%) previo al envasado final (es sometido a pruebas de esterilidad de acuerdo con los procedimientos de la Farmacopea de los Estados Unidos (USP) y de la Farmacopea Europea. La matriz ósea resultante tiene un contenido en calcio igual o inferior al 8%. No se han empleado agentes de esterilización terminales en este procedimiento. Los tejidos han sido tratados con gentamicina y pueden contener pequeñas

cantidades residuales de este antibiótico. Los tejidos se limpian con etanol al 70% y se lavan con agua purificada. El proceso de preparación de la matriz ósea desmineralizada ha sido desarrollado por la Musculoskeletal Transplant Foundation-MTF. La materia prima es hueso cortical de fémur, tibia, peroné y húmero.

Todos los tejidos MTF se recogen en quirófano y dentro de las 24 horas siguientes a la defunción del donante. Es política de la Fundación que todos los tejidos se recojan de forma aséptica y se mantienen así durante su procesamiento y distribución al usuario. No obstante, algunos tejidos han mostrado un cultivo positivo como resultado del proceso de recogida. En estos casos han sido expuestos a una dosis reducida de radiación gamma (1.2-1.38 megarads) como método de reducción de la biocarga antes de la manufactura del producto final. En estos casos la etiqueta del producto indicará "*Pretreated with gamma irradiation*". Se ha demostrado que esta dosis reducida de radiación esteriliza efectivamente todo contaminante bacteriano y micótico. Se ha demostrado la ausencia de efectos de la irradiación a dosis reducida sobre las propiedades biológicas de los tejidos. Después del tratamiento el tejido se procesa de forma aséptica normal.

Wientroub y Reddi (1988) estudian la influencia de la irradiación en el potencial osteoinductor de la matriz ósea desmineralizada. (modelo en ratas atímicas) Tras la implantación de la matriz surge una cascada de procesos. Al tercer día existe una proliferación de células mesenquimales; condrogénesis al 7º día; calcificación de la matriz cartilaginosa y condrolisis al 9º día; osteogénesis el 11º día. Así, se forma un tejido hemopoyético que contiene partículas de hueso activo. Entre el día 12-18 se produce un remodelado óseo. La formación ósea es determinada midiendo la actividad de la fosfatasa alcalina; la tasa de mineralización fue determinada midiendo la incorporación del calcio al hueso mineral; el contenido de calcio mide la extensión de la mineralización; la actividad de la fosfatasa ácida mide la reabsorción ósea.

La dosis de radiación (menor de 2.5 megarads) actualmente usada por los bancos de tejido para esterilización no destruye las propiedades osteoinductivas de la matriz ósea desmineralizada. Por encima de estas dosis se enlentece la respuesta ósea inducida por la matriz y disminuye la resistencia del hueso neoformado. Dosis elevadas provocan alteraciones en la proliferación celular, obteniendo menor cantidad de cartílago y diferenciación ósea. Especialmente a partir de 7.5 megarads se produce una rápida degradación de la matriz ósea irradiada. Cuanto mayor es la radiación menor es la matriz ósea implantada y significativamente mayor el número de células gigantes multinucleadas. La susceptibilidad a enzimas de reabsorción ósea incrementa a mayor dosis de radiación.

Una alternativa podría ser la irradiación del hueso de banco previa a la desmineralización. Es posible que la fase mineral proteja la matriz orgánica del daño de la irradiación.

La seguridad vírica de la matriz ósea desmineralizada DBX ha sido evaluada según las recomendaciones de la Conferencia Internacional sobre armonización para estudios de aclaración viral de productos biotecnológicos (Q5A). Dichos estudios emplearon 6 modelos para establecer el aclaramiento e inactivación: virus de la inmunodeficiencia humana tipo I (VIH-1); virus de la hepatitis humana tipo A (VHA); virus de la polio; virus de la diarrea viral bovina (VDVB) como modelo para el virus de la hepatitis humana tipo C (VHC); virus de la pseudorrabia (VSR), como modelo para el virus del CMV/herpes humano; y el parvovirus porcino (PVP) como modelo para el parvovirus humano B19. Todos los estudios se llevaron a cabo conforme los reglamentos de la FDA y de la Unión Europea sobre *Good Laboratory Practice (GLP)* para estudios preclínicos de laboratorio, establecidos en el Código de Reglamentos Federales (21 CFR 58). No existen casos documentados de contaminación vírica tras el empleo de matriz ósea desmineralizada. Es seguro su empleo desde el punto de vista de la transmisión de enfermedades.

La matriz ósea desmineralizada genera una superficie osteoconductiva y además una fuente de factores osteoinductivos. Favorece la migración celular mesenquimal, fijación y osteogénesis tras su implantación asociada a hueso e induce la formación ósea endocondral. Algunos estudios sugieren que la regeneración tisular guiada combinada con el uso de matriz ósea desmineralizada es más predecible que el uso exclusivo de membranas en el tratamiento periodontal de defectos óseos (De Leonardis et al 1999) Sin embargo los resultados clínicos son variables. Un metaanálisis de tratamiento de defectos intraóseos con matriz ósea desmineralizada ha cuestionado su beneficio en estos tratamientos (Laurell et al 1998) Dicha variabilidad en la osteogénesis por matriz ósea desmineralizada también ha sido expuesta en animales (Pinholt et al 1992).

Algunas posibles explicaciones a tener en cuenta al evaluar la variabilidad en los resultados clínicos con el uso de matriz ósea desmineralizada pueden ser:

1. Las proteínas osteoinductoras pueden no estar presentes en una cantidad suficiente para producir formación ósea detectable.
2. Los componentes osteoinductivos de la matriz ósea desmineralizada pueden estar presentes pero en una forma inactiva.
3. La variabilidad natural en los donantes humanos es reflejada en la variabilidad en la neoformación ósea y algunas preparaciones son

más activas que otras tras su obtención por los mismos procedimientos. La variabilidad intraproducto depende de las características idiosincrásicas del donante único. Un estudio que examina la variabilidad en la osteoinducción indica que la edad del donante aunque no el sexo puede ser un factor determinante (Schwartz et al 1998) Tras la publicación de este estudio algunos bancos de hueso limitan la edad de sus donantes (varones de 15-60 años y mujeres de 15-55 años).

4. Los bancos de tejidos no emplean métodos idénticos en la preparación de la matriz ósea desmineralizada. El proceso de esterilización puede ser un factor importante que contribuya a las propiedades osteoinductivas del producto. La esterilización con óxido de etileno puede disminuir la efectividad de la matriz ósea desmineralizada y aumentar la reabsorción del injerto (Aspenberg y Lindqvist 1998) El efecto de la radiación también es controvertido. El hueso irradiado ha mostrado una osteoneogénesis normal tras la creación de defectos óseos.
5. Cuando la matriz ósea desmineralizada es usada en forma de partículas, el tamaño de las mismas es un factor importante en la osteoinducción. Partículas en el rango de 125-1000 micrones poseen un potencial osteogénico mayor que las partículas por debajo de 125 micrones (Shapoff et al 1980) El tamaño óptimo de las partículas es entre 100-300 micrones. Puede ser debido a una combinación entre superficie y densidad. Partículas de menor tamaño son reabsorbidas por la acción de los macrófagos. Entre 250-750 micrones se encuentran la mayoría de productos disponibles en el mercado.

Un carrier ideal debe presentar excelentes características de manejo, no generar reacciones autoinmunes, mantener estabilidad posicional y no debe inhibir las propiedades osteoconductoras y osteoinductivas del hueso desmineralizado procesado. Basándonos en estos criterios, el hialuronato sódico es un primer candidato.

El hialuronato sódico es polisacárido formado por proteínas de la membrana plasmática presentes en el organismo humano y compuesto de N-acetilglucosamina y ácido glucurónico. Se ha mostrado extremadamente seguro cuando experimentalmente se ha implantado en diversos tejidos. Es un hidrogel de alto peso molecular biocompatible y viscoso. Desempeña un papel fundamental en la proliferación, migración y adherencias celulares, y se ha correlacionado con la angiogénesis (Orlidge y D'Amore 1986). Ha demostrado ser inocuo y mantener la estabilidad en el lugar de implantación, siendo eliminado por el organismo vía renal en menos de 1 semana. El cuerpo utiliza las propiedades viscosas del hialuronato sódico

como lubricante para las articulaciones y el cartílago. Gracias a esta elevada viscosidad, el DBX es resistente al desplazamiento causado por la sangre o la irrigación. Está disponible para su inyección directa en cápsulas sinoviales como en la rodilla para tratamiento analgésico en osteoartritis. También se emplea intraoperatoriamente en procedimientos oftalmológicos para mantener la presión intraocular. La combinación de hueso desmineralizado e hialuronato sódico produce una consistencia de una pasta o masilla que proporciona una mayor facilidad de uso y versatilidad durante la aplicación quirúrgica. Se elabora en condiciones asépticas y no se somete a tratamientos por irradiación ni calor para conservar su osteoinductividad. (Boyce et al 1999) Se obtiene por eliminación de la fase mineral del hueso cortical. Está compuesto de colágeno y factores de crecimiento óseo como proteínas óseas morfogenéticas (BMP). Surge así una matriz osteoconductiva proporcionada por la estructura colágena y empleada para obliterar defectos óseos traumática o quirúrgicamente creados. Los factores de crecimiento óseo presentes y activos son responsables de sus propiedades osteoinductoras y estimulan activamente la formación y regeneración ósea. El proceso de elaboración de la matriz DBX elimina los minerales, con lo cual se liberan las BMPs. Inducen la diferenciación de los citoblastos mesenquimatosos indiferenciados hacia osteoblastos. Ha sido empleado en el campo de la cirugía ortopédica, cirugía reconstructiva facial y odontología-periodoncia. Es un material biocompatible, presenta pH fisiológico (pH 7.4 proporciona resultados óptimos), no es hemolítico, se conserva a temperatura ambiente, es maleable y se puede mezclar con autoinjertos (Gertzman y Sunwoo 2001).

Otros carrier empleados como el glicerol (contenido en Grafton DBM) presentan un potencial efecto tóxico renal a altas dosis (estudio animal en ratas). Provoca mionecrosis, rhabdmiolisis, mioglobinuria y el subsecuente fracaso renal agudo. Los autores del estudio sugieren que el uso clínico del Grafton Putty en humanos se debe limitar a no más de 2ml/kg de peso (Wang et al 2001). Sin embargo, no se han documentado en la literatura efectos negativos tras el empleo de dicho material en cualquiera de sus presentaciones en humanos.

Existen varias presentaciones comerciales (particulado, en bloques, pasta...) disponibles para uso clínico desde 1991. Varían respecto al tamaño de las partículas, forma, grado de desmineralización, % de matriz ósea desmineralizada y técnicas de procesamiento.

Dependiendo de la forma de presentación las propiedades de aumento óseo varían, siendo las partículas de menor tamaño incorporadas al lecho receptor de forma más rápida que los grandes bloques (Bae et al 2006).

La incorporación de estos materiales en el lecho receptor puede ser extremadamente lenta. Su sustitución por hueso nuevo calcificado ha sido inconsistente e implica varios meses, principalmente en defectos de gran tamaño. El proceso de incorporación del injerto y neoformación ósea puede ser acelerado con la adición de factores de crecimiento óseo como la BMP-2 (Elsalant et al 2008) Su uso está indicado en zonas sin carga.

Se han realizado estudios que comparan la capacidad osteoinductiva de los diferentes preparados comerciales que contienen matriz ósea desmineralizada.

Dunn (2006) determina histológicamente la neoformación ósea tras la implantación intramuscular de 3 preparados comerciales (DBX Putty, Accell Connexus y Accell DBM 100) en ratones atímicos (20 muestras en 4 receptores diferentes en cada grupo así como grupo control). La escala histológica se numera de 0-4 y es evaluada 28 días después de la implantación intramuscular. Escala de valoración:

0: implica la ausencia de neoformación ósea.

1: 1-25% de la muestra es cubierta por hueso nuevo.

2: 26-50% de la muestra es cubierta por hueso nuevo.

3: 51-75% de la muestra es cubierta por hueso nuevo.

4: Más del 75% de la muestra es cubierta por hueso nuevo.

Cuando se implanta en animales normales, la matriz ósea desmineralizada humana es xenogénica y se desencadena una respuesta inmune que puede comprometer el análisis de la osteoinducción. Para evitar esto, se usa como modelo ratones atímicos en los que no se crea una respuesta inmune humoral.

DBX Putty fue consistentemente osteoinductivo en este modelo. 100% de las muestras presentaban osteoinducción, con una puntuación de 2.06 ± 0.84 .

Accell Connexus no fue consistentemente osteoinductiva. Sólo el 59% de las muestras presentaban osteoinducción, con un valor de 0.77 ± 0.95 .

Accell DBM100 fue marginalmente osteoinductiva. Sólo el 27% de las muestras eran osteoinductivas, con un valor de 0.30 ± 0.55 .

A pesar de los resultados, se desconoce la correlación existente entre la osteoinducción obtenida en el modelo animal frente al modelo humano.

El éxito en el modelo animal tipo ratones atímicos puede no necesariamente predecir la misma respuesta osteoinductiva en primates. Algunos agentes osteoinductivos han demostrado buena eficacia en vertebrados menores y han fracasado tras su aplicación en primates no

humanos. De hecho, en primates no humanos la respuesta obtenida con las proteínas óseas morfogenéticas (BMPs) es menor. Se necesitan mayores concentraciones de BMPs para conseguir una respuesta osteoinductiva similar en primates (Boden et al 1995). Además, la respuesta a las BMPs en monos *rhesus* es similar a la respuesta en humanos (Boden et al 2000).

DBX presenta 7 factores de crecimiento detectables en sus preparaciones: Fibroblast growth factor basic (FGFb), Insulin like growth factor-I (IGF-I), Transforming growth factor-beta1 (TGF-beta1), Bone morphogenetic growth factor-4 (BMP-4), BMP-2, Platelet derived growth factor-bb (PDGF-bb), FGFa y Vascular endotelial growth factor (VEGF).

Transforming growth factor (TGF) es un grupo de polipéptidos multifuncionales que tienen un amplio espectro de actuación en la actividad ósea, tejido conectivo y sistema inmunológico.

TGF-beta1 es crucial en el desarrollo, inducción y reparación del hueso. Interviene en la diferenciación osteoblástica y osteoclástica. Estimula la proliferación de progenitores mesenquimales, expandiendo la población celular con posterior diferenciación hacia osteoblastos. Regula la expresión de osteopontina, osteonectina y colágeno tipo I.

Recientemente se ha descrito que el TGF-beta1 incrementa la osteoinducción de forma dosis-dependiente en un modelo standard con ausencia de consolidación ósea (Moxham et al 2009).

Con el nombre genérico de Proteínas Óseas Morfogénicas (BMPs) se denomina a un grupo de proteínas osteoinductivas que, obteniéndose a partir de la matriz ósea no mineralizada, son capaces de iniciar y estimular la diferenciación de células mesenquimales pluripotenciales hacia células osteoprogenitoras. Su enorme interés es consecuencia de su potencial capacidad para formar hueso y cartílago de *novo* (Urist et al 1983).

La sorprendente conservación estructural de las BMP aumenta la posibilidad de que dominen el desarrollo crítico y la función regulatoria no solamente del cartílago y el hueso, ya que existen investigaciones que indican que además de la osteogénesis postfetal, la osteogenina (BMP-3) puede influir en la esqueletogénesis embriológica. (Sampath y Reddi 1981) Además, los distintos patrones espaciales de BMP-2, BMP-3, BMP-4 y BMP-6 mRNAs, sugieren que también están involucradas en eventos relacionados con la inducción ósea que controlan el patrón de formación ósea durante el desarrollo embrionario. (Boyne et al 2005) BMP-7 se expresa en niveles altos en el riñón, aumentando las posibilidades de que cumpla una función endocrina. BMP-7 también se expresa en el cerebro,

sugiriendo una posible actividad en el desarrollo del sistema nervioso central. BMP-3 se expresa principalmente en los pulmones, sugiriendo una participación en la homeostasis tisular esquelética de una manera endocrina, como se propone en el caso del riñón. BMP-2 y PO-2 mRNAs no han sido detectadas en órganos adultos (Ardila 2009).

La experimentación primero con animales y después en humanos con las BMPs tiene en nuestra especialidad una figura significada: Philip J. Boyne. Desde 1996 este autor y sus colaboradores demostraron la capacidad de la rhBMP-2 para reparar soluciones de continuidad mandibulares y hendiduras palatinas en diferentes tipos de monos (*Macaque fascicularis*, *mulatta*). (Boyne 1996; Boyne et al 1998) En 1997 puso en evidencia su positivo empleo en la cirugía de las elevaciones sinusales, y en 1999 demostró que el hueso neoformado con el exclusivo empleo de rhBMP-2 en esponjas de colágeno presentaba un favorable comportamiento osteointegrador con los implantes convencionales y las mallas de titanio (Boyne et al 1997). En 2005 en un excelente trabajo compara entre dos tipos de concentraciones de rhBMP-2 para la elevación de los senos maxilares y detalla las cantidades a utilizar de la proteína en esta cada vez más frecuente cirugía de nuestra especialidad. (Boyne et al 2005) Pero quizás uno de los trabajos que mayor estímulo puede provocar en nuestra imaginación es el artículo que junto con Alan Herford publicó en el año 2008 en el *J Oral Maxillofac Surg.* (Herford y Boyne 2008) En él se documenta la historia de 14 pacientes (de una serie de 36) a los que se les realizó excelentes reconstrucciones óseas de defectos sobradamente críticos de los maxilares con el exclusivo empleo de kits de tamaño grande (en defectos mayores de 3,5 cm) de rh-BMP-2 (INFUSE, Medtronic, Nashville, TN) en esponjas de colágeno reabsorbible.

BMP pueden inducir la formación ósea en el esqueleto craneofacial pero el espesor y la calidad del hueso son variables (Smith et al 2008). Existen publicaciones donde se demuestra la intensa reacción inflamatoria que provocan, la formación de hueso ectópico, reabsorción incrementada del hueso adyacente y quistes osteolíticos cuando se usan las BMP en la columna vertebral. (Smoljanovic et al, 2009; Vaidya et al 2008) Por otra parte el efecto a largo plazo en los tejidos locales no está claro especialmente en edades en crecimiento. Estos biomateriales además son extremadamente caros y no se encuentran disponibles en toda la comunidad científica.

El modelo de desarrollo postfetal óseo inducido por la matriz extracelular del hueso desmineralizado ha mostrado expectativas importantes en materia de investigación. La implantación intramuscular o subcutánea de matriz ósea desmineralizada genera diferenciación local del hueso

endocondral (Sampath y Reddi 1981). La respuesta tisular producida por esta implantación es similar a la presentada en el desarrollo óseo embriológico; sin embargo, a diferencia del crecimiento epifiseo, donde se observa una continua diferenciación ósea y cartilaginosa, en el modelo de matriz ósea inducida se evidencia un solo ciclo de formación endocondral.

La formación de hueso ectópico en músculo (bíceps femoral) de ratón demuestra las propiedades osteoinductivas del DBX. (Gerzmann y Sunwoo 2001). Tras la implantación de 10 mg de DBX en el músculo bíceps femoral de ratones atímicos, se aprecia un material denso de mineralización en el lugar de la implantación a los 28 días.

En otro estudio se llevó a cabo una fusión lumbar posterolateral de las apófisis transversas en conejos con madurez ósea, que se sacrificaron a las 9 semanas de la intervención. La mezcla de DBX y autoinjerto óseo en proporción 1:1 fue tan eficaz como la misma cantidad de autoinjerto óseo. Los TACs de control realizados pusieron de manifiesto incluso un volumen considerablemente mayor de tejido óseo mineralizado en los conejos que habían recibido la mezcla de DBX y autoinjerto. (Yee et al 2002) Sin embargo, no existen artículos que hayan investigado su uso en la obliteración del seno frontal en humanos (Altman et al 2007).

La obliteración sinusal con DBX muestra relleno de la cavidad sinusal con hueso trabecular. Histológicamente se demuestra significativa sustitución progresiva por hueso desde la 12ª semana (53.3%) hasta la 36ª semana (78.8%). Un fino reborde periférico hiperdenso representa la neoformación ósea que puede ser observada alrededor del DBX en la 12ª semana. Esta área densa periférica muestra un incremento medio en su espesor en la 36ª semana, mientras que la obliteración sinusal total se mantiene. El examen histológico revela en senos obliterados con grasa la presencia de tejido adiposo viable sin osteoneogénesis asociada. (Altman et al 2007)

En contraste, crecimiento óseo trabecular normal con islas residuales de DBX son halladas en senos obliterados con matriz ósea demineralizada. Existe marcada progresión en la cantidad de neoformación ósea desde la semana 12ª a la 36ª con remodelación ósea significativa. DBX es completamente reemplazado por el nuevo hueso huésped en un periodo de 4-6 meses.

En otro estudio, 18 perros fueron sometidos a una fractura tibial controlada, reducida y alineada, creando un gap óseo entre fragmentos de 10mm. Se dividieron en tres grupos:

1. Osteotomía tibial (control).
2. Osteotomía tibial y aplicación de DBM.
3. Osteotomía tibial, aplicación de DBM y TGF-beta1.

Los animales son sacrificados 5 semanas después de la cirugía.

Comparado con el grupo control, los grupos 2 y 3 presentan una aceleración en la formación del callo y la curación ósea. La aplicación local de TGF-beta1 incrementa la cantidad de colágeno y la actividad proteolítica. Existen más osteoclastos inmunopositivos y células mesenquimales en el hueso neoformado. Reduce el espacio entre los fragmentos óseos y favorece el proceso de mineralización (Servin et al 2011).

No se observan complicaciones como consecuencia del material empleado. Se extrae como conclusión de este artículo que el DBX es un material útil para la obliteración sinusal en el modelo animal y que son precisos estudios a largo plazo y ensayos en humanos para establecer el papel de dicho biomaterial. Consigue una obliteración sinusal completa con el mantenimiento del volumen a largo plazo. Se observa además una rápida y progresiva neoformación ósea y remodelado. Sin embargo, no existe en el momento actual ningún estudio que cuantifique la densidad ósea (HU) de senos frontales obliterados con viruta ósea de calota y DBX.

6.C. Discusión de las complicaciones

Chuang y Dodson (1995) revisan la frecuencia de complicaciones graves en pacientes intervenidos quirúrgicamente comparados con pacientes que no precisaron cirugía siguiendo los principios básicos del tratamiento de las fracturas del seno frontal. Se realiza una búsqueda en *Medline* con artículos desde 1980 hasta 2003 relacionadas con complicaciones inflamatorias en fracturas de seno frontal. Excluyendo revisiones y casos clínicos publicados, se seleccionaron exclusivamente 25 estudios donde se expone con suficiente detalle la tasa de complicaciones. El diseño de estos estudios fue habitualmente pobre (nivel IV de evidencia) Se estimó que la tasa de complicaciones inflamatorias graves fue aproximadamente del 9%. En un esfuerzo para estimar la tasa de complicaciones en pacientes con fracturas de seno frontal no tratadas, se extrapolan datos de la literatura referida a la cirugía craneofacial revisando resultados de los procedimientos que a

menudo crean alteración de la normal anatomía de los senos frontales. Seleccionan 3 estudios con una tasa media de complicaciones del 3%. Se deduce de esta revisión que los pacientes con lesiones menos severas pueden ser observados de forma segura con bajo riesgo de complicaciones a corto plazo y que pacientes con lesiones más severas se benefician del tratamiento quirúrgico con relativo bajo riesgo de secuelas adversas a corto plazo.

Sin embargo, la única manera de prevenir defectos cosméticos frontales, facilitar un posible tratamiento neuroquirúrgico asociado y, sobre todo, prevenir complicaciones infecciosas supurativas es el tratamiento quirúrgico.

La mayoría de autores creen que el elemento clave en el tratamiento con éxito de los pacientes con fracturas de seno frontal es el conocimiento-funcionamiento del drenaje del seno frontal (Wilson et al 1988). La posición posteromedial del ducto lo hace particularmente susceptible a la lesión, siendo afectado en más de un tercio de los pacientes con traumatismos del seno frontal. Existe evidencia clínica y experimental que sugiere que la obstrucción del ducto es un factor predisponente significativo en el desarrollo de complicaciones infecciosas tipo mucocel-mucopiocele prácticamente de por vida. Así, se recomienda que las fracturas que provocan afectación del ducto nasofrontal como para provocar una obstrucción del mismo deben ser tratadas con el objetivo de crear un seno frontal seguro ("*safe sinus*" Stanley 1989) con exéresis completa de la mucosa y obliteración del mismo.

Hybels y Newman (1977) evalúan 26 fracturas de la pared posterior en gatos y encuentran que dichas fracturas no provocan complicaciones a menos que el ducto esté afectado. Fracturas de la pared posterior no desplazadas o reducidas quirúrgicamente osifican de forma primaria. Si el ducto está afectado y la mucosa no se elimina, existe un elevado riesgo de formación de mucocelos.

Se plantea la preservación sinusal en casos con fracturas desplazadas de pared anterior, sin afectación ductal y sin desplazamiento de la pared posterior.

El seno frontal se sitúa en la unión entre el esplacnocráneo y el neurocráneo, entre la fosa craneal anterior y la región nasoetmoidoorbitaria. El tratamiento inapropiado del complejo frontal puede acarrear serias complicaciones principalmente sépticas incluso varios años después del

suceso. Los pacientes con fracturas del seno frontal requieren un seguimiento a largo plazo incluyendo la realización de TACs de control seriados. De esta forma es posible el diagnóstico de complicaciones previas a su presentación clínica.

Una complicación se denomina precoz si ocurre dentro de los primeros 6 meses (Rohrich y Hollier 1992). Pueden estar relacionadas con el abordaje quirúrgico, destacando el dolor local frontal (Wilson et al 1988), parestesias locales y diplopia transitoria, todas ellas habitualmente con resolución espontánea o tras tratamiento médico. La infección de la herida quirúrgica no suele suceder y en la mayoría de los casos son autolimitadas. Una complicación adicional que puede derivarse de las lesiones intracraneales es la pérdida hemática. Más a menudo asociada con scalps importantes y fracturas panfaciales aunque se puede producir en el contexto de hematomas subdurales, epidurales o hemorragias intraparenquimatosas.

La complicación precoz más significativa es la fístula de líquido cefalorraquídeo (Gonty et al 1999).

La fístula de líquido cefalorraquídeo a menudo no ocurre en asociación directa con lesiones de la pared posterior del seno frontal sino con fracturas de la placa etmoidal. Las dos áreas más frecuentemente implicadas son la lámina cribiforme donde la dura está densamente adherida y la fôvea etmoidal donde el hueso es tan fino que con frecuencia se producen dehiscencias (Metzinger 2009). Cuanto más medial es la fractura de la base craneal más probable es el desarrollo de fístula de LCR. Las fístulas de LCR asociadas a fracturas del hueso temporal cesan espontáneamente con menos frecuencia que aquellas asociadas a fracturas frontoetmoidales.

Dependiendo de la severidad del traumatismo, en algunas series puede llegar al 30% si asocia fracturas de la base craneal anterior. Sucede en un 2% de los pacientes con lesiones craneales. La administración de antibióticos en esta situación es controvertida. La mayoría de estas fístulas se resuelven con manejo conservador (reposo relativo +/- drenaje lumbar). La reexploración quirúrgica estaría indicada si la fístula persiste más allá de 10 días.

Una fístula de LCR cede espontáneamente en los primeros 5 días tras el traumatismo en el 80-90% de los pacientes. Esto puede ser debido a la formación de coágulos locales, mucosa lacerada, adhesiones de tejido inflamatorio sobre el desgarró dural y/o herniación de tejido cerebral. Hemos de tener en cuenta la posibilidad de lesiones durales en ausencia de fístula de LCR dada la posible obstrucción al flujo sinusal.

Test adicionales son a menudo necesarios para descartar fístulas de LCR ocultas. Maniobras de valsalva, detección de glucosa o beta-2-transferrina

en secreción nasal, CT de alta resolución y RNM con T2 hiperintenso son pruebas útiles en el diagnóstico de dichas fistulas.

Raveh presenta una incidencia de fistula de líquido cefalorraquídeo persistente menor del 2% y un 1.1% de los casos desarrollan meningitis bacteriana. Sinusitis frontales agudas postoperatorias ocurren en 1.7% y la infección crónica y mucocoele sólo en el 3% (Datos relativos a 395 pacientes, 1988).

Sin embargo la complicación precoz más temida es la meningitis. Su incidencia puede llegar a ser del 6%. Entre el 7-30% de los pacientes con fistula de LCR postraumática desarrollan meningitis bacteriana (Gerbino et al 2000). La tasa se incrementa si se perpetúa la fistula (Sakas et al 1998). En la región de la lámina cribiforme, la dura está particularmente adherida al hueso subyacente y las fracturas del tercio medio facial con desplazamiento de la región etmoidal pueden crear una comunicación entre la cavidad nasal y la base craneal anterior. Existe un riesgo elevado estadísticamente significativo de meningitis postraumática, incluso varios años después, en fracturas desplazadas en línea media con afectación de la lámina cribiforme (y en general en las fracturas frontoetmoidales).

Para minimizar la morbilidad y potencial mortalidad debe ser diagnosticada de forma inmediata. Cambios en el estado mental, fiebre y/o rigidez de nuca obligan a realizar una punción lumbar tras el TAC cerebral y a la instauración de antibióticos de amplio espectro.

La tasa de complicaciones infecciosas está en clara relación con tres variables:

- Duración prolongada de la rinorrea.
- Fracturas desplazadas de gran tamaño.
- Proximidad de las fracturas a línea media.

Pacientes con fracturas que combinan este tipo de variables son considerados de alto riesgo para el desarrollo de patología infecciosa y el tratamiento quirúrgico precoz en estos casos es imperativo. Sakas et al (1998) describen un incremento significativo de patología infecciosa en presencia de fistula de líquido cefalorraquídeo 8 días después del traumatismo inicial sin la instauración de tratamiento adecuado. La extensión de la fractura es importante ya que fracturas mayores de 1 cm presentan una tasa de complicaciones infecciosas sustancialmente mayor. Además, cuanto más próximas a la línea media se hallen las fracturas, mayor es la posibilidad de infección.

Las complicaciones tardías son inusuales pero son insidiosas y pueden tener consecuencias significativas. La presencia de mucocelos y/o mucopioceles pueden desarrollarse pocos meses después o tras varios años desde la intervención inicial. Se han descrito hasta 42 años después del abordaje y tratamiento quirúrgico del seno frontal (Bordley y Bosley 1973) Pueden causar osteolisis e invadir múltiples senos paranasales, la órbita o el esplacnocráneo. Su lento crecimiento y su ausencia inicial de sintomatología hacen que su diagnóstico sea habitualmente tardío.

Bordley y Bosley (1973) revisan 56 casos de mucocelos frontoetmoidales y encuentran que un 11% tienen una historia previa de traumatismo frontal.

Los abscesos cerebrales son raros pero potencialmente fatales. La diseminación de infecciones desde el seno frontal a través de los forámenes de Breschet da lugar a la infección intracraneal. El absceso cerebral se desarrolla por diseminación de la infección a lo largo de los espacios periarteriolares de Virchow a través del parénquima cerebral. Los síntomas son insidiosos: pérdida de apetito, fatiga, letargo, cambios en la personalidad.

La osteomielitis es anecdótica en la era actual e implica habitualmente un tratamiento combinado antibiótico-quirúrgico.

Otras complicaciones son las sinusitis recurrentes y las trombosis del seno cavernoso.

La afectación intracraneal más frecuente es el dolor crónico. Puede evolucionar hasta una cefalea sinusal crónica. Es más recurrente en pacientes con múltiples fracturas. Sin embargo, no hay un patrón específico de fractura que pueda predecir si se desarrollará un síndrome de dolor crónico. El dolor puede ser un indicador de una complicación a largo plazo como mucopioceles u osteomielitis. La cefalea crónica puede representar desde un incremento de la presión intracraneal hasta una fístula de líquido cefalorraquídeo o una sinusitis frontal (Metzinger 2009)

La herniación del tejido cerebral, el edema de la mucosa etmoidal y/o los coágulos-hematomas impiden a menudo la objetivación del LCR en las fosas nasales. Esto explica la aparición tardía de fístulas de LCR incluso varios años después del traumatismo inicial.

Más frecuente es la presencia de defectos estéticos frontales (Gonty et al 1999, Heredero et al 2007). La disponibilidad actual de material de osteosíntesis adecuado y el empleo de injertos óseos primarios hacen que su tendencia sea decreciente.

Por otra parte, los defectos óseos postraumáticos en la base craneal anterior tienden a persistir. La organización ósea entre los bordes fracturarios habitualmente no sucede, incluso a largo plazo. Se puede generar un defecto creciente. Pequeños fragmentos óseos se reabsorben y la cicatrización fija la dura dañada a los bordes óseos. Se forma así una vía que permite infecciones ascendentes. De esta forma, un traumatismo craneal leve o incluso una maniobra de valsalva pueden ser suficientes para producir una conexión entre la cavidad nasal y el espacio intracraneal. Éste concepto apoya la necesidad de tratamiento quirúrgico precoz y preciso de los defectos frontobasales en pacientes con fístula de LCR. Se defiende el uso de injertos óseos autólogos primarios para reponer el hueso dañado o ausente tras fracturas conminutas, evitando la deformidad estética resultante.

En nuestros pacientes con traumatismos craneofaciales usamos de forma primaria como injertos óseos hueso membranoso, especialmente la cortical externa de la calota craneal. Los injertos óseos autólogos aportan una matriz tisular resistente asociada a un complemento celular (osteoblastos, osteoclastos y osteocitos) útiles en fracturas conminutas con defectos óseos. Es precisa la reposición del hueso fracturado conminuto como soporte óseo durante el tratamiento primario del paciente. Los injertos óseos deben ser fijados o estabilizados usando miniplacas de titanio con el objetivo de disminuir su tasa de reabsorción permitiendo el crecimiento vascular en los mismos. Por otra parte, la cobertura adecuada de las partes blandas favorece también la vascularización óptima de los injertos. La fijación rígida elimina micromovimientos y permite la osificación primaria.

En resumen, la infección postoperatoria es el mayor factor pronóstico en el resultado quirúrgico de pacientes tratados con patología de la base craneal. La infección es la causa principal de mortalidad operatoria (Kryzanski et al 2008) La mayoría de complicaciones en la cirugía de la base craneal anterior son relativas a la contaminación bacteriana y a una reconstrucción de la base craneal inadecuada. En muchos casos, los focos infecciosos son la cavidad nasal y los senos paranasales donde la sangre y/o fluidos se acumulan tras la intervención. Para prevenir las complicaciones infecciosas postquirúrgicas, diferentes técnicas quirúrgicas han sido empleadas. El objetivo final común de esas técnicas es la reconstrucción completa, el sellado hermético de la base craneal y la eliminación del espacio muerto postoperatorio.

7. CONCLUSIONES

Los refinamientos quirúrgicos del abordaje subcraneal desarrollados a lo largo de la historia permiten cumplir con éxito los siguientes criterios básicos relacionados con la cirugía de la base craneal:

1. Permitir una exposición adecuada de los defectos duros frontales.
2. Permitir el tratamiento asociado de determinadas lesiones intracraneales.
3. Mínima morbilidad quirúrgica.
4. Preservar cintillas olfatorias.
5. Empleo de los espacios aéreos faciales y movilización segura de los huesos craneofaciales como vía de abordaje a la base craneal.
6. Respeto máximo de los pedículos neurovasculares, cruciales en la vitalidad de los colgajos utilizados en la reconstrucción y en la viabilidad de los injertos óseos.
7. Planificación conjunta abordaje-reconstrucción para asegurar el aislamiento efectivo de las distintas cavidades implicadas, en especial del espacio subdural y la vía aerodigestiva superior.

Es imprescindible por otra parte a la hora de elegir el abordaje más apropiado considerar la experiencia del equipo quirúrgico y la posibilidad de futuras cirugías sobre el mismo campo quirúrgico.

La reconstrucción primaria es imperativa en estos procedimientos para asegurar la supervivencia, siendo el método reconstructivo ideal aquél que reduzca al máximo el número de complicaciones, no interfiriendo con las pruebas de imagen de control postquirúrgicas y proporcionando un resultado estético y funcional óptimo. La tasa de complicaciones presentada en este estudio es inferior a la media publicada en la literatura, proponiendo así el abordaje y técnica quirúrgica como método adecuado de tratamiento de fracturas de la base craneal anterior.

El objetivo principal en la elección del tratamiento ideal para un paciente con fractura del seno frontal ha de ser prevenir las complicaciones asociadas tanto precoces como tardías. El tratamiento inapropiado del complejo frontal puede suponer serias complicaciones, principalmente infecciosas, incluso varios años después del suceso. Los pacientes con patología que afecte al seno frontal requieren un seguimiento a largo plazo incluyendo anualmente la realización de una prueba de imagen de control. De esta forma es posible el diagnóstico de complicaciones previas a su presentación clínica.

Se propugna que la mayoría de las fracturas del seno frontal deben ser exploradas quirúrgicamente. La localización y extensión de las fracturas, la condición de la membrana mucosa de recubrimiento del seno frontal, el

estado preexistente del seno frontal y la potencial fuente de complicaciones en el seguimiento deben tenerse en cuenta a la hora de decidir acerca de la obliteración sinusal.

Décadas después de la primera obliteración sinusal frontal, el material óptimo para la obliteración sinusal frontal permanece desconocido y es fuente de frecuentes debates en el ámbito de la cirugía reconstructiva.

La multitud de métodos de obliteración empleados atiende al hecho de que todos ellos han presentado un grado moderado de éxito. La revisión extensa de la literatura en torno a la obliteración del seno frontal sugiere que es tan importante el material empleado en el relleno de la cavidad sinusal como la técnica quirúrgica empleada para la preparación del seno previa a la implantación del material, incluyendo la adecuada obliteración del ducto nasofrontal (Woods 1949).

La elección en la práctica clínica de un material de relleno u otro exige un conocimiento de los mecanismos íntimos que intervienen en la regeneración ósea, permitiendo valorar de forma crítica la avalancha de información sobre los materiales disponibles.

Nuestro equipo quirúrgico aboga por el relleno con viruta ósea de calota, favorecido dicho procedimiento por el abordaje coronal. La consolidación ósea sinusal frontal que se obtiene con este método permite a largo plazo un exhaustivo control radiológico, siendo más sencillo el diagnóstico de posibles recidivas de la patología de base.

El hueso autólogo particulado continúa siendo el material de elección para el relleno de cavidades, a pesar de los esfuerzos realizados por conseguir resultados similares con otros materiales, especialmente con hueso alogénico y xenogénico, sustitutos óseos y biomateriales. Probablemente son dos las razones por las que los materiales autólogos mantienen su preponderancia en el momento actual. Por un lado, el hecho de que no se haya encontrado un material ideal alternativo tras años de intensas investigaciones y de aplicación clínica. Las potenciales ventajas de un biomaterial (obviar la morbilidad en una zona donante y su disponibilidad ilimitada) no han superado sus inconvenientes: intolerancia, falta de adaptabilidad, reabsorción, escasa aceptación por el paciente, coste económico...

En segundo lugar, la versatilidad, supervivencia y adaptabilidad de los materiales autólogos se ha visto respaldada por la simplificación y mejor conocimiento de las técnicas de obtención de hueso, sobre todo para defectos de pequeño y moderado tamaño. Sin embargo, presenta algunas

desventajas como el coste elevado del procedimiento, la necesidad de un sitio donante, necesidad de hospitalización y la morbilidad postoperatoria entre otras.

El DBX asociado al hueso autólogo de calota craneal es un material útil y seguro en la obliteración sinusal, disminuyendo la morbilidad de la zona donante. Son precisos estudios a más largo plazo para establecer el papel exacto de dicha combinación. Consigue una obliteración completa con el mantenimiento del volumen sinusal. Se observa además una rápida y progresiva neoformación ósea y remodelado. Además, existe una diferencia significativa desde el punto de vista de la monitorización postoperatoria con pruebas de imagen entre la obliteración con cualquier tejido blando incluyendo grasa y músculo y el hueso-DBX.

El empleo de DBX como biomaterial asociado a hueso autólogo aporta a largo plazo resultados seguros en la obliteración sinusal al igual que el *gold standard*, aunque el grado de osificación alcanzado sea significativamente menor (aún así permite seguimiento radiológico adecuado descartando complicaciones asociadas) A pesar de la multitud de biomateriales disponibles en el mercado en el momento actual, el hueso autólogo sigue plenamente vigente como material de relleno de cavidades óseas.

Tras el análisis de resultados se desaconseja el empleo de DBX en senos frontales de gran tamaño (mayor tiempo de osificación y por tanto mayor seguimiento con mayor número de pruebas de imagen postoperatorias). Igualmente y dado que el *gold standard* en la obliteración sinusal es el hueso autólogo se desaconseja el empleo de más del 50% de biomaterial para el relleno de la cavidad.

La combinación de injertos autólogos con otros materiales de relleno ha desembocado en múltiples artículos, sin que se puedan establecer conclusiones definitivas por el momento. Uno de los mayores retos planteados hoy en día en la cirugía oral y maxilofacial es la reconstrucción con materiales de relleno de cavidades y defectos óseos, buscando la excelencia y el material de relleno ideal. Las técnicas de regeneración ósea y el uso de diversos materiales osteoinductivos suscitan cada día más interés.

Los avances en la ingeniería tisular nos proveen en el momento actual de una gran variedad de herramientas empleadas como injertos óseos. Factores de crecimiento, moléculas de adhesión y materiales osteoconductivos-osteinductivos están disponibles dentro del campo de la cirugía reconstructiva ósea.

Es importante para aplicaciones futuras el concepto de que la inducción óptima de formación ósea depende de la acción combinada de BMP y un sustrato complementario. El compuesto del sustrato de la matriz extracelular en estado sólido, en asociación con BMP solubles, inicia la cascada de diferenciación ósea. Algunas investigaciones han demostrado que el colágeno de la matriz ósea proporciona un sustrato óptimo para el reclutamiento y adhesión de células progenitoras y la posterior proliferación y diferenciación en osteoblastos (Boyne 2001; Boyne et al 2006).

8. BIBLIOGRAFÍA

Abramson AL, Eason RL. Experimental frontal sinus obliteration: Long-term results following removal of the mucous membrane lining. *Laryngoscope* 1977;87:1066.

Ahlmann E, Patzakis M, Roidis N, Sheperd L, Holtom P. Comparison of anterior and posterior iliac crest bone grafts in terms of harvest-site morbidity and functional outcomes. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84-A: 716-720.

Altman JJ, Eloy JA, Hoch BL, Muñoz CM, Shohet MR. Demineralized bone matrix and fat autograft in a rabbit model of frontal sinus obliteration. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2007;137(2):264-8.

Anderson CM. External operation on the frontal sinus: causes of failure. *Arch Otolaryngol* 1932;15:739-745.

Ardila CM. Bases teóricas y aplicación clínica de las proteínas morfogenéticas óseas en cirugía maxilofacial. *Rev Esp Cir oral y Maxilofac* 2009;31,3:151-156.

Aspenberg P, Lindqvist SB. Ethene oxide and bone induction. Controversy remains. *Acta Orthop Scand* 1998;69:173-176.

Bae HW, Zhao L, Kanim LE, Wong P, Delamarter RB, Dawson EG. Intervariability and intravariability of bone morphogenetic proteins in commercially available demineralized bone matrix products. *Spine* 2006;31:1299-1306.

Bakamjian VY, Leonard AG. Bone dust cranioplasty. *Plast Reconstr Surg* 1977;60:784-788.

Baron SH, Dedo HH, Henry CR. The mucoperiosteal flap in frontal sinus surgery (The Sewall-Boyden-McNaught operation) *Laryngoscope* 1973;83:1266-1280.

Bassett CAL. Clinical implications of cell function in bone grafting. *Clin Orthop* 1972;87:49.

Bauer TW, Muschler GF. Bone graft materials. An overview of basic science. *Clin Orthop Relat Res* 2000;371:10-27.

Bell RB, Dierks EJ, Brar P, Potter JK, Potter BE. A protocol for the management of frontal sinus fractures emphasizing sinus preservation. *J Oral Maxillofac Surg* 2007;65(5):825-39.

Bergara R. Osteoplastic operation on the large frontal sinus in chronic suppurative sinusitis: End results. *Trans. Am. Acad. Ophthalmol. Otolaryngol.* 1947;51:643.

Bergara R, Itoiz AO. Present state of the surgical treatment of chronic frontal sinusitis. *Arch Otolaryngol* 1955;61:616.

Boden SD, Schimandle JH, Hutton WC. The use of an osteoinductive growth factor for lumbar spinal fusion: Part II. Study of dose, carrier and species. *Spine* 1995;20:2633-44.

Boden SD, Zdeblick TA, Sandhu HS. The use of rhBMP-2 in interbody fusion cages: Definitive evidence of osteoinduction in humans: A preliminary report. *Spine* 2000;25:376-81.

Bordley JE, Bosley WR. Mucocoeles of the frontal sinus: Causes and treatment. *Ann Otol* 1973;82:696-702.

Bosley WR. Osteoplastic obliteration of the frontal sinuses: a review of 100 patients. *Laryngoscope* 1972;82:1463-76.

Boyce T, Edwards J, Scarborough N. Allograft bone. The influence of processing on safety and performance. *Ortho Clin North Am* 1999;30:571-581.

Boyne PJ. Animal studies of the application of rhBMP-2 in maxillofacial reconstruction. *Bone* 1996;19 (Suppl):83S-92S.

Boyne PJ, Marx RE, Nevins M. A feasibility study evaluating rhBMP-2/ absorbable collagen sponge for maxillary sinus floor augmentation. *Int J Periodont Rest Dent* 1997;17:11-25.

Boyne PJ, Nath R, Nakamura A. Human recombinant BMP-2 in osseous reconstruction of simulated cleft palate defects. *Br J Oral Maxillofac Surg* 1998;36: 84-9.

Boyne PJ. Application of bone morphogenic proteins in the treatment of clinical oral and maxillofacial osseous defects. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83:146-50.

Boyne PJ, Lilly LC, Marx RE, Moy PK, Nevins M, Spagnoli DB. De novo bone induction by recombinant human bone morphogenic protein-2 (rhBMP-2) in maxillary sinus floor augmentation. *J Oral Maxillofac Surg* 2005;63:1693-707.

Boyne PJ, Salina S, Nakamura A, Audia F, Shabahang S. Bone regeneration using rhBMP-2 induction in hemimandibulectomy type defects of elderly subhuman primates. *Cell Tissue Bank* 2006;7:1-10.

Burstein F, Cohen S, Hudgins R, Boydston W. Frontal basilar trauma: classification and treatment. *Plast Reconst Surg* 1997;99:1314-1323.

Cantu G, Solero CL, Pizzi N. Skull base reconstruction after anterior craniofacial resection. *J Craniomaxillofac Surg* 1999;27:228-234.

Casiano RR, Cooper J. Anterior table free bone graf technique for frontal sinus obliteration. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1992;106:363.

Chuang SK, Dodson TB. A protocol for the management of frontal sinus injuries emphasizing sinus preservation. *J Oral Maxillofac Surg* 1995;65(5): 825.

Da-Jeng Chen, Chien-Tzung Chen, Yu-Ray Chen, Guan-Ming Feng. Endoscopically assisted repair of frontal sinus fracture. *J Trauma* 2003;55:378-382.

Dale Browne J, Mims JW. Preservation of olfaction in anterior skull base surgery. *Laryngoscope* 2000;110:1317-1322.

De Leonardis D, Garg AK, Pedrazzoli V, Pecora GE. Clinical evaluation of the treatment of class II furcation involvements with bioabsorbable barriers alone or associated with demineralized freeze-dried bone allografts. *J Periodontol* 1999;70:102-104.

Derome P. Les tumeurs sphenoethmoidales. Possibilities d'exerese et de reparation chirurgicales. *Neurochirurgie* 1972;18:1-164.

Disa JJ, Robertson BC, Metzinger SE, Manson PN. Transverse glabellar flap for obliteration/isolation of the nasofrontal duct from the anterior cranial base. *Ann Plast Surg* 1996;36:453-457.

Donald PJ, Bernstein L. Compound frontal sinus injuries with intracranial penetration. *Laryngoscope* 1978;88:225-232.

Donald PJ. Frontal sinus ablation by cranialization. *Arch Otolaryngol* 1982;108:142.

Dressmann H. Ueber knochenplombierung bei hohlenformigen defekten des knochens. *Beitr Klin Chir* 1892;9:804-810.

Dunn M.G. Osteoinductivity of MTF DBX Putty, IsoTis Orthobiologics Accell DBM100 and Accell Connexus in the athymic mouse model. *Musculoskeletal Transplant Foundation* 2006. 404-200 606TC1.

Eljamel MS, Pidgeon CN, Toland J. MRI cisternography and the localization of CSF fistulae. *Br J Neurosurg* 1994;8:433-437.

Elsalanty ME, Por YC, Genecov DG. Recombinant human BMP-2 enhances the effects of materials used for reconstruction of large cranial defects. *J Oral Maxillofac Surg* 2008;66:277-285.

Elsalanty ME, Genecov DG. Bone grafts in craniofacial surgery. *Craniofacial Trauma & Recons* 2009;2:125-134.

Fattahi T, Johnson Ch, Steinberg B. Comparison of two preferred methods used for frontal sinus obliteration. *J Oral Maxillofac Surg* 2005;63:487-491.

Fliss DM, Zucker G, Amir A, Gatot A, Cohen JT, Spektor S. The subcranial approach for anterior skull base tumors. *Oper Tech in Otolaryngol Head Neck Surg* 2000;11:238-253..

Fliss DM, Zucker G, Amir A, Cohen JT, Rowe A, Forer B, Gatot A. The surgical one-stage management of frontobasal fractures. *Oper Tech in Otolaryngol Head neck Surg* 2000;11:254-260.

Fliss DM, Zucker G, Amir A, Cohen JT, Gatot A. The combined subcranial-midfacial degloving approach. *Oper Tech in Otolaryngol Head neck Surg* 2000;11:279-285.

Fliss DM, Abergel A, Cavel O, Margalit N, Gil Z. Combined subcranial approaches for excision of complex anterior skull base tumors. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2007;133:888-896.

Food and Drug Administration (2002) Document P000058-InFUSE Bone Graft /LT-CAGE lumbar tapered fusion device.

Frodel JL. Management of skull base fractures. *Oper Tech in Otolaryngol* 2008;19:214-223.

Gerbino G, Roccia F, Benech A, Caldarelli C. Analysis of 158 frontal sinus fractures: current surgical management and complications. *J Craniomaxillofac Surg* 2000;28:133-139.

Gerhart TN, Kirker-Head CA, Kriz MJ, Holtrop ME, Hennig GE, Hipp J. Healing of large midfemoral segmental defects in sheep using recombinant human bone morphogenic protein (BMP-2). *Trans Orthop Res Soc* 1991;16:172.

Gerzmann AA, Sunwoo MH. A pilot study evaluating sodium hyaluronate as a carrier for freeze-dried demineralized bone powder. *Cell Tissue Banking* 2001;2:87-94.

Gibson T, Walker FM. Large osteoma of the frontal sinus. A method of removal to minimize scarring and prevent deformity. *Br J Plast Surg* 1952;4:210.

Ginsburg CM. Frontal sinus fractures. *Pediatrics in review* 1997;18:120-121.

Gonty A, Marciani R, Adornato D. Management of frontal sinus fractures: a review of 33 cases. *J Oral Maxillofac Surg* 1999;57:372-379.

Goodale RL, Montgomery WW. Experiences with osteoplastic anterior wall approach to the frontal sinus. *Arch Otolaryngol* 1958;60:271.

Goodale RL. Obliteration of the frontal sinus. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1965;74:831.

Gosain AK, Song L. Osteogenesis in cranial defects: reassessment of the concept of critical size defects and the expression of TGF-B isoforms. *Plast Reconstr Surg* 2000;106:360-371.

Graham HD III, Spring P. Endoscopic repair of frontal sinus fracture: case report. *J Craniomaxillofac Trauma* 1996;2:52-55.

Grahne B. Chronic frontal sinusitis treated by autogenous osteoplasty. *Acta Otolaryngol* 1971;72:215.

Greene AK, Mulliken JB, Proctor MR, Rogers GF. Pediatric craneoplasty using particulate calvarial bone graft. *Plast Reconstr Surg* 2008;122:563-571.

Gussack AL, Luterman A, Powell RW. Pediatric maxillofacial trauma: unique features in diagnosis and treatment. *Laryngoscope* 1987;97:925-930.

Harris L, Marano GD, McCorkle D. Nasofrontal duct: CT in frontal sinus trauma. *Radiology* 1987;165:195-198.

Haug RH, Likavec MJ. Frontal sinus reconstruction. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 1994;2:65-83.

Heller EM, Jacobs JB, Holliday RA. Evaluation of the frontonasal duct in frontal sinus fractures. *Head Neck* 1989;11:46.

Helmy ES, Koh ML, Bays RA. Management of frontal sinus fracture: review of the literature and clinical update. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;69:137-148.

Herford AS, Boyne PJ. Reconstruction of Mandibular Continuity Defects With Bone Morphogenetic Protein-2 (rhBMP-2). *J Oral Maxillofac Surg* 2008;66:616-24.

Heredero S, Zubillaga I, Castrillo M, Sánchez G, Montalvo JJ. Tratamiento y complicaciones de las fracturas del seno frontal. *Rev Esp Cir Oral y Maxilofac* 2007;29:145-153.

Hilding A. Experimental surgery of the nose and sinuses: III. Results following partial and complete removal of the lining mucous membrane from the frontal sinus of the dog. *Arch Otolaryngol* 1933;17:760.

Hilding A, Banovetz J. Occluding scars in the sinuses: relation to bone growth. *Laryngoscope* 1963;73:1201.

Hollinger JO, Kleinschmidt JC. The critical size defect as an experimental model to test bone repair materials. *J Craniofac Surg* 1990;2:237-43.

Holmgren EP, Dierks EJ, Assael LA. Facial soft tissue injuries as an aid to ordering a combination head and facial computed tomography in trauma patients. *J Oral Maxillofac Surg* 2005;63,5:651-654.

Hybels RL, Newman H. Posterior table fractures of the frontal sinus: I. An experimental study. *Laryngoscope* 1977;87:171-179.

Infante-Cossío P, Gutiérrez JL, Torres D, García Perla A, González Padilla JD. Relleno de cavidades óseas en cirugía maxilofacial con materiales autólogos. *Rev Esp Cirug Oral y Maxilofac* 2007;29: 7-19.

Ioannides Ch, Freihofer HP, Bruaser J. Trauma of the upper third of the face. *J Maxillofac Surg* 1984;12:255-267.

Ioannides Ch, Freihofer HP, Friens J. Fractures of the frontal sinus: a rationale of treatment. *Br J Plast Surg* 1993;46:208-214.

Jackson IT, Adham MN, March WR. Use of the galeal frontalis myofascial flap in craniofacial surgery. *Plast Reconstr Surg* 1986;77:905-910.

Johnson EE, Urist MR, Finerman GA. Resistant nonunions and partial or complete segmental defects of long bones. Treatment with implants of a composite of human bone morphogenic protein (BMP) and autolyzed, antigen-extracted, allogeneic (AAA) bone. *Clin Orthop Relat Res* 1992;227:229-37.

Junquera LM, Gallego L. Bases teóricas y aplicación clínica de las proteínas morfogenéticas óseas en cirugía maxilofacial. Discussion. *Rev Esp Cir oral y Maxilofac* 2009;31,3:157-159.

Kalavrezos ND, Gratz KW, Warnke T, Sailer HF. Frontal sinus fractures: computed tomography evaluation of sinus obliteration with lyophilized cartilage. *J Craniomaxillofac Surg* 1999;27:20-24.

Kalavrezos N. Current trends in the management of frontal sinus fractures. *Injury* 2004;35:340-346.

Killian G. Die Killianische radical operation der chronischer stirnhohleneuterungen. *Arch Laryngol Rhinol* 1903;13:59-88.

Kim SG, Kim WK, Park JC, Kim HJ. A comparative study of osseointegration of Avana implants in a demineralized freeze-dried bone alone or with platelet-rich plasma. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:1018-1025.

Kinnunen I, Aitasalo K. A review of 59 consecutive patients with lesions of the anterior cranial base operated on using the subcranial approach. *J Craniomaxillofac Surg* 2006;34:405-411.

Knauf HA. Single stage frontal sinus obliteration. *Arch Otolaryngol* 1963;78:707.

Kryzanski JT, Annino DJ, Gopal H, Heilman CB. Low complication rates of cranial and craniofacial approaches to midline anterior skull base lesions. *Skull Base* 2008;18:229-241.

Kuhn FA. An integrated approach to frontal sinus surgery. *Otolaryngol Clin N Am* 2006;39:437-461.

Lappert PW, Lee JW. Treatment of an isolated outer table frontal sinus fracture using endoscopic reduction and fixation. *Plast Reconst Surg* 1998;102:1642-1645.

Laurell L, Gottlow J, Zybutz M, Persson R. Treatment of intrabony defects by different surgical procedures. A literature review. *J Periodontol* 1998;69:303-313.

Lee KW, Sakai O, Spiegel JH. CT measurement of the frontal sinus. Gender differences and implications for frontal cranioplasty. *J Craniomaxillofac Surg* 2010;38:494-500.

Lee TT, Ratzker PA, Galarza M, Villanueva PA. Early combined management of frontal sinus and orbital and facial fractures. *J Trauma* 1998;44:665-669.

Lindorf HH. A contribution on revisional and drainage of the frontal sinus by osteoplastic operation. *J Maxillofac Surg* 1986;14:34.

Luyten FP, Cunningham NS, Ma S, Muthukumaran N, Hammonds RG, Nevins WB. Purification and partial amino acid sequence of osteogenin, a protein initiating bone differentiation. *J Biol Chem* 1989;264:13377-80.

Lynch RC. The technique of a radical frontal sinus operation which has given me the best results. *Laryngoscope* 1921;31:1.

MacBeth R. The osteoplastic operation for chronic infection of the frontal sinus. *J Laryngol Otol* 1954;68:465-477.

Manolidis S. Frontal sinus injuries: Associated injuries and surgical management of 93 patients. *J Oral Maxillofac Surg* 2004;62:882-891.

Manson PN. Facial injuries. In J.G.McCarthy, *Plastic Surgery Vol 2:The face*. Ed Saunders 1990.;1108.

Marden LJ, Fan RS, Pierce GF, Reddi AH, Hollinger JO. Platelet derived growth factor inhibits bone regeneration induced by osteogenin, a bone morphogenetic protein, in rat craniotomy defects. *J Clin Invest* 1993;92:2897-2905.

Martello JY, Vasconez HC. Supraorbital roof fractures: a formidable entity with which to contend. *Ann Plast Surg* 1997;38:223-227.

Mcneil RA. Surgical obliteration of the frontal sinus: a clinical and experimental study. *Laryngoscope* 1967;77:202-217.

Merkx MA, Maltha JC, Stoelinga PJW. Assessment of the value of anorganic bone additives in sinus floor augmentation: a review of clinical reports. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2003;32:1-6.

Messerklinger W. On the drainage of the normal frontal sinus of man. *Acta Otolaryngol* 1967;63:176-181.

Metzinger SE, Metzinger RC. Complications of frontal sinus fractures. *Craniomaxillofac Trauma & Recons* 2009;2:2734.

Mickel TJ, Rohrich RJ, Robinson Jr JB. Frontal sinus obliteration: a comparison of fat, muscle, bone and spontaneous osteogenesis in the cat model. *Plast Reconstr Surg* 1995;95:586-92.

Montgomery WW, Pierce DL. Anterior osteoplastic fat obliteration for frontal sinus: Clinical experience and animal studies. *Trans Am Acad Ophthalmol Otolaryngol* 1963;67:46.

Moriyama H, Yanagi K, Ohtori N. Healing process of sinus mucosa after endoscopic sinus surgery. *Am J Rhinol* 1996;10:61-66.

Mosher HP, Judd DK. An analysis of seven cases of osteomyelitis of the frontal bone complicating frontal sinusitis. *Laryngoscope* 1933;43:153.

Moxham JP, Wong KK, Kibblewhite DJ. Transforming growth factor-beta1 shows an incremental osteoinductive dose-response relationship. *Laryngoscope* 2009;1:126-130.

Munuera L. Biomateriales aquí y ahora. Ed. Dykinson, 2000.

Nadell J, Kline DG. Primary reconstruction of depressed frontal skull fractures including those involving the sinus, orbit and cribriform plate. *J Neurosurg* 1974;41:200.

Newman MH, Travis NL. Frontal sinus fracture. *Laryngoscope* 1973;83:1281-1292.

Ochandiano S. Relleno de cavidades óseas en cirugía maxilofacial con materiales aloplásticos. *Rev Esp Cirug Oral y Maxilofac* 2007;29:21-32.

Orlidge A, D'Amore PA. Cell specific effects of glycosaminoglycans on the attachment and proliferation of vascular wall components. *Microvascular Research* 1986;31:41-43.

Owens M, Klotch DW. Use of bone for obliteration of the nasofrontal duct with the osteoplastic flap: a cat model. *Laryngoscope* 1993;103:883-9.

Peer LA. Loss of weight and volume in human fat grafts. *Plast Reconstr Surg* 1950;5:217.

Pinholt EM, Haanaes HR, Roervik M, Donath K, Bang G. Alveolar ridge augmentation by osteoinductive materials in goats. *Scand J Dent Res* 1992;100:361-365.

Piotrowski WP. The primary treatment of frontobasal and midface fractures in patients with head injuries. *J Oral Maxillofac Surg* 1992;50:1264-1268.

Pryor LS, Gage E, Langevin CJ. Review of bone substitutes. *Craniofacial Trauma & Reconstr* 2009;2:151-160.

Ramadan HH. History of the frontal sinus surgery. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2000;126:98-99.

Raveh J, Redli M, Markwalder TM. Operative management of 194 cases of combined maxillofacial-frontobasal fractures: Principles and surgical modifications. *J Oral Maxillofac Surg* 1984;42:555.

Raveh J, Vuillemin T, Sutter F. Subcranial management of 395 combined frontobasal-midface fractures. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1988;114:1114.

Raveh J, Laedrach K, Speiser M. The subcranial approach for fronto-orbital and anteroposterior skull base tumors. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1993;119:385.

Reddi AH, Hugins CB. Biomechanical sequences in the transformation of normal fibroblasts in adolescent rats. *Proc Natl Acad Sci. EEUU*. 1972;69:1601-1605.

Ripamonti U, Ma S, Cunningham N, Yeates L, Reddi AH. Reconstruction of the bone-marrow organ by osteogenin, a bone morphogenetic protein, and demineralized bone matrix in calvarial defects of adult primates. *Plast Reconstr Surg* 1993;91:27-36.

Rodríguez E, Stanwix MG, Nam AJ, Hilaire HS, Simmons OP, Christy MR, Grant M, Manson PN. Twenty-six year experience treating frontal sinus fractures: a novel algorithm based on anatomical fracture pattern and failure of conventional techniques. *Plast Reconstr Surg* 2008;122:1850-1866.

Rogers GF, Greene AK, Mulliken JB, Proctor MR, Ridgway EB. Exchange cranioplasty using autologous calvarial particulate bone graft effectively repairs large cranial defects. *Plast Reconstr Surg* 2011;127:1631-1642.

Rohrich RJ, Hollier LH. Management of frontal sinus fractures. Changing concepts. *Clin Plast Surg* 1992;19:219.

Rohrich RJ, Mickel TJ. Frontal sinus obliteration: in search of the ideal autogenous material. *Plast Reconstr Surg* 1995;95:580-585.

Rosen C, Nachtigal D. The use of hydroxiapatite for obliteration of the human frontal sinus. *Laryngoscope* 1995;105:553-555.

Sailer HF, Gratz KW, Kalavrezos ND. Frontal sinus fractures: principles of treatment and long term results after sinus obliteration with the use of lyophilized cartilage. *J Craniomaxillofac Surg* 1998;26:235-42.

Sakas DE, Beale DJ, Ameen AA, Whitwell HL, Whittaker KW, Krebs AJ, Abbasi KH, Dias PS. Compound anterior cranial base fractures:

classification using computerized tomography scanning as a basis for selection of patients for dural repair. *J Neurosurg* 1998;88:471-477.

Samoilenko A. Obliteration post-operative des sinus frontaux. *Arch Int Laryngol* 1913;35:337.

Sampath TK, Reddi AH. Dissociative extraction and reconstitution of extracellular matrix components involved in local bone differentiation. *Proc Natl Acad Sci USA* 1981;78:7599-603.

Sampath TK, Mulhukumaran N, Reddi AH. Isolation of osteogenic an extracellular matrix-associated, bone inductive protein, by heparin affinity chromatography. *Proct Natl Acad Sci USA* 1987;84:7109- 113.

Sampath TK, Coughlin JE, Whelstone RM, Banach D, Corbett C, Ridge RJ. Bovine osteogenic protein is composed of dimers of OP-1 and BMP-2A, two members of the transforming growth factor B superfamily. *J Biol Chem* 1990; 265:13198-205.

Sataloff RT, Sariego J, Myers DL. Surgical management of the frontal sinus. *Neurosurgery* 1984;15:593.

Schaefer SD, Close LG Mickey BE. Axial subcutaneous scalp flaps in the reconstruction of the anterior cranial fossa. *Arch OtolaryngolHead Neck Surg* 1986;112:745-749.

Schenck NL. Frontal sinus disease: III. Experimental and clinical factors in failure of the frontal osteoplastic operation. *Laryngoscope* 1975;85:76.

Schmitz J, Hollinger J. The critical size defect as an experimental model for craniomandibular non junction. *Clin Orthop Rel Res* 1986;205:299-304.

Schmitz JP, Lemke RR, Smith BR. The perimeter marking technique for rigid fixation of frontal sinus fractures: Procedure and report of cases. *J Oral Maxillofac Surg* 1994;52:1120-1125.

Schumrick KA, Smith CP. The use of cancellous bone for frontal sinus obliteration and reconstruction of frontal bony defects. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1994;120:1003-1009.

Schumrick KA, Ryzenman JM. Endoscopic management of facial fractures. *Facial Plast Surg Clin North Am* 2001;9:469-474.

Schwartz Z, Somers A, Mellonig JT. Ability of commercial demineralized freeze-dried bone allograft to induce new bone formation is dependent on donor age but not gender. *J Periodontol* 1998;69:470-478.

Sekhar LN, Nanda A, Sen CN, Snyderman CN, Janecka IP. The extended frontal approach to tumors of the anterior, middle and posterior skull base. *J Neurosurg* 1992;76:198-206.

Senn N. On the healing of aseptic bone cavities by implantation of antiseptic decalcified bone. *Am J Med Sci* 1889;98:219-43.

Servin Trujillo MA, Reyes Esparza JA, Garrido Fariña G, Flores Gazca E, Osuna Martínez U, Rodríguez Frago L. The combined use of a graft of demineralized bone matrix along TGF-B1 leads to an early bone repair in dogs. *J Vet Med Sci* 2011;5:13-18.

Sessions RB, Alford BR, Stratton C. Current concepts of frontal sinus surgery: An appraisal of the osteoplastic flap-fat obliteration operation. *Laryngoscope* 1972;82:918.

Shapoff CA, Bowers GM, Levy B, Mellonig JT, Yukna RA. The effect of particle size on the osteogenic activity of composite grafts of allogenic freeze-dried bone and autogenous marrow. *J Periodontol* 1980;51:625-630.

Shehadi SI. Skull reconstruction with bone dust. *Br J Plast Surg* 1970;23:227-234.

Simmons O, Manson PN. Endoscopic management of orbital and frontal sinus fractures. *Craniomaxillofac Trauma & Recons* 2009;2:177-184.

Smith DM, Afifi AM, Cooper GM, Mooney MP, Marra KG, Losee JE. BMP-2 based repair of large scale calvarial defects in an experimental model: Regenerative surgery in cranioplasty. *J Craniofac Surg* 2008;19:1315-1322.

Smoljanovic T, Janjanin S, Bojanic I. Avoiding unanticipated adverse effects of recombinant human bone morphogenetic protein-2 therapy in craniofacial surgery with experiences from spinal applications. *J Craniofac Surg* 2009;20:1626.

Snyderman CH, Janecka IP, Sekhar LN, Sen ChN, Eibling DE. Anterior cranial base reconstruction: role of galeal and pericranial flaps. *Laryngoscope* 1990;100:607-614.

- Stanley RB Jr. Fractures of the frontal sinus. *Clin Plast Surg* 1989;16:115.
- Strong EB. Frontal sinus fractures: Current concepts. *Craniomaxillofac Trauma & Recons* 2009;2:161-175.
- Tato JM, Sibbald DW, Bergaglio OE: Surgical treatment of the frontal sinus by the external route. *Laryngoscope* 1954;64:504.ç
- Thaller SR, Donald P. The use of pericranial flaps in frontal sinus fractures. *Ann Plast Surg* 1994;32:284-287.
- Urist MR. Bone: Formation by autoinduction. *Science* 1965;150:893-9.
- Urist MR, DeLange RJ, Finerman GAM. Bone cell differentiation and growth factors. *Science* 1983;220:680-6.
- Urist MR, Chang JJ, Lietze A y cols.Preparation and bioassay of bone morphogenetic protein and polypeptides fragments. *Methods in Enzymol* 1987;146:294-312.
- Urken ML, Som PM, Lawson W. Abnormally large frontal sinus. Nomenclature, pathology and symptoms. *Laryngoscope* 1987;97:606.
- Vaidya R, Sethi A, Bartol S, Jacobson M, Coe C, Craig JG. Complications in the use of rhBMP-2 in PEEK cages for interbody spinal fusions. *J Spinal Disord Tech* 2008;21:557-562.
- Van Aalst JA, Luerssen TG, Whitehead WE, Havlik RJ. “Keystone” approach for intracranial nasofrontal dermoid sinuses. *Plast Reconstr Surg* 2005;116:13-19.
- Walsh TE. Experimental surgery of the frontal sinus: The role of the ostium and nasofrontal duct in postoperative healing. *Laryngoscope* 1943;53:75.
- Wallis A, Donald PJ. Frontal sinus fractures: a review of 72 cases. *Laryngoscope* 1988;98:593-598.
- Wang CF, Kanim LE, Nagakawa IS, Yamane BH, Vinters HV, Dawson EG. Dose-dependent toxicity of a commercially available demineralized bone matrix material. *Spine* 2001;26:1429-1436.

Wang EA, Rosen V, Cordes P y cols Purification and characterization of other distinct bone inducing factors. *Proc Natl Acad Sci* 1988;85:9484-98.

Weber R, Draef W, Keerl R. Osteoplastic frontal sinus surgery with fat obliteration: Technique and long-term results using magnetic resonance imaging in 82 operations. *Laryngoscope* 2000;110:1037.

Whitaker LA. Biological boundaries: a concept in facial skeletal restructuring. *Clin Plast Surg* 1989;16:1-10.

Wientroub S., Reddi A.H. Influence of irradiation on the osteoinductive potential of demineralized bone matrix. *Calcif Tissue Int* 1988;42:255-260.

Wilson BC, Davidson B, Corey JP, Haydon III RC. Comparison of complications following frontal sinus fractures managed with exploration with or without obliteration over 10 years. *Laryngoscope* 1988;98:516-520.

Winter AA, Pollack AS, Odrich RB. Sinus/Alveolar crest tenting (SACT): a new technique for implant placement in atrophic maxillary ridges without bone grafts or membranes. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2003;23:557-65.

Wolfe SA, Johnson P. Frontal sinus injuries: Primary care and management of late complications. *Plast Reconstr Surg* 1988;82:781-791.

Woods RR. Fourth International Congress of Otorhinolaryngology 1949. P. 115.

Wright DL, Hoffman HT, Hoyt DB. Frontal sinus fractures in the pediatric population. *Laryngoscope* 1992;102:1215-1219.

Yavuzer R, Sari A, Kelly CP, Tuncer S, Latifoglu O, Celebi C, Jackson IT. Management of frontal sinus fractures. *Plast Reconstr Surg* 2005;115:79-93.

Yee AJM, Bae H, Friess D, Robbin M, Johnstone B, Yoo JU. Augmentation of spinal fusion with a demineralized bone/ hyaluronan matrix. 48th Annual Meeting, Orthopaedic Research Society 2002.

Zins JE, Whitaker LA. Membranous versus endochondral bone: Implications for craniofacial reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 1983;72:778-785.

Zubillaga I, Sánchez G, Montalvo JJ, Díez lobato R. Abordaje subcraneal: Discusión y revisión histórica de la técnica quirúrgica. *Rev Esp Cir Oral y Maxilofacial* 2009;31,1:7-16 .

Zubillaga I, Falguera MI, Sánchez G, Montalvo JJ, Díez Lobato R. Abordaje subcraneal. Consideraciones técnicas y aplicaciones en patología traumática craneofacial. *Neurocirugía* 2010;21:168-178.

9. ANEXO

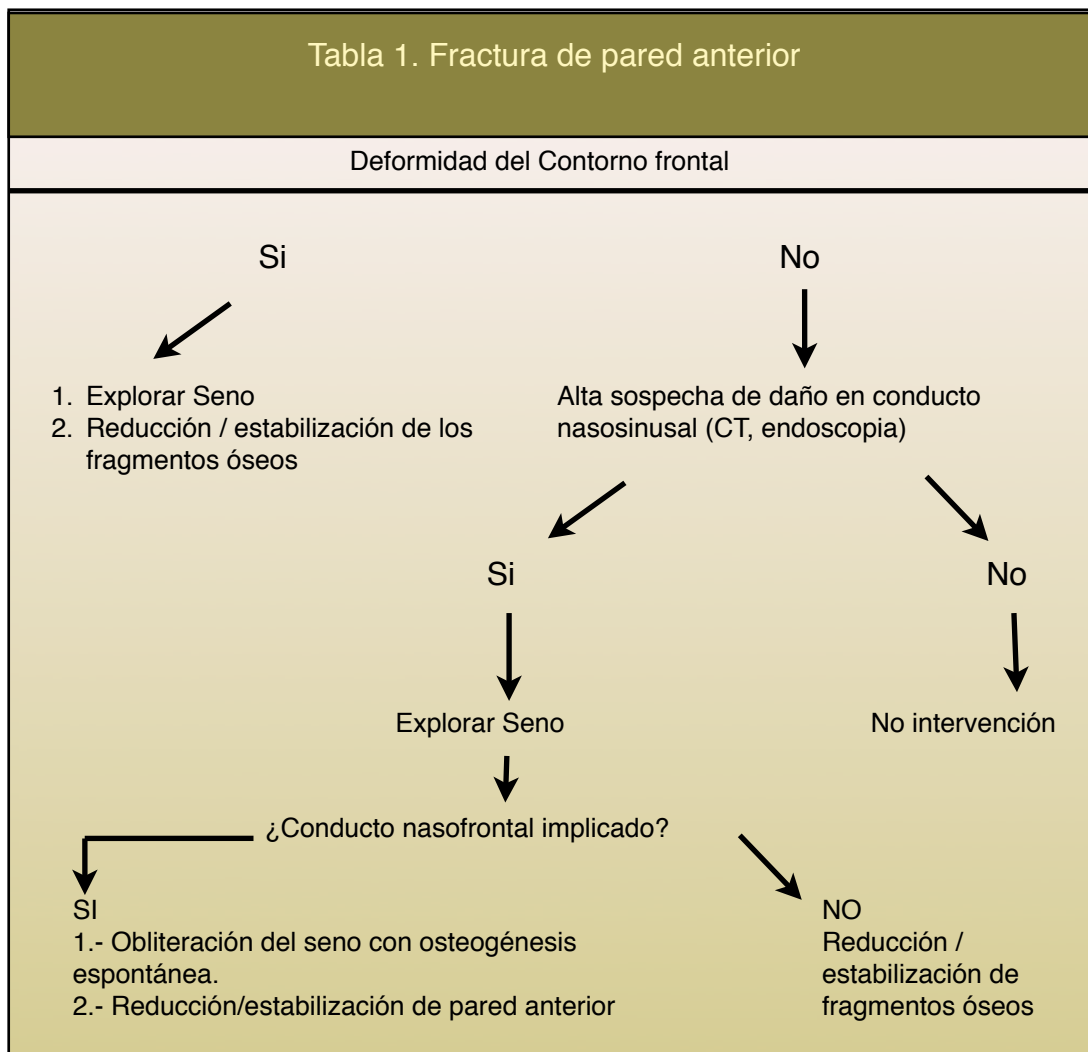


Tabla 2. Fractura Combinada de pared anterior y posterior

Desplazamiento de pared posterior

